This is a digital copy of a book that was preserved for generations on library shelves before it was carefully scanned by Google as part of a project to make the world's books discoverable online.

It has survived long enough for the copyright to expire and the book to enter the public domain. A public domain book is one that was never subject to copyright or whose legal copyright term has expired. Whether a book is in the public domain may vary country to country. Public domain books are our gateways to the past, representing a wealth of history, culture and knowledge that's often difficult to discover.

Marks, notations and other marginalia present in the original volume will appear in this file - a reminder of this book's long journey from the publisher to a library and finally to you.

Usage guidelines

Google is proud to partner with libraries to digitize public domain materials and make them widely accessible. Public domain books belong to the public and we are merely their custodians. Nevertheless, this work is expensive, so in order to keep providing this resource, we have taken steps to prevent abuse by commercial parties, including placing technical restrictions on automated querying.

We also ask that you:

+ *Make non-commercial use of the files* We designed Google Book Search for use by individuals, and we request that you use these files for personal, non-commercial purposes.

+ *Refrain from automated querying* Do not send automated queries of any sort to Google's system: If you are conducting research on machine translation, optical character recognition or other areas where access to a large amount of text is helpful, please contact us. We encourage the use of public domain materials for these purposes and may be able to help.

+ *Maintain attribution* The Google "watermark" you see on each file is essential for informing people about this project and helping them find additional materials through Google Book Search. Please do not remove it.

+ *Keep it legal* Whatever your use, remember that you are responsible for ensuring that what you are doing is legal. Do not assume that just because we believe a book is in the public domain for users in the United States, that the work is also in the public domain for users in other countries. Whether a book is still in copyright varies from country to country, and we can't offer guidance on whether any specific use of any specific book is allowed. Please do not assume that a book's appearance in Google Book Search means it can be used in any manner anywhere in the world. Copyright infringement liability can be quite severe.

About Google Book Search

Google's mission is to organize the world's information and to make it universally accessible and useful. Google Book Search helps readers discover the world's books while helping authors and publishers reach new audiences. You can search through the full text of this book on the web at `http://books.google.com/`

Über dieses Buch

Dies ist ein digitales Exemplar eines Buches, das seit Generationen in den Regalen der Bibliotheken aufbewahrt wurde, bevor es von Google im Rahmen eines Projekts, mit dem die Bücher dieser Welt online verfügbar gemacht werden sollen, sorgfältig gescannt wurde.

Das Buch hat das Urheberrecht überdauert und kann nun öffentlich zugänglich gemacht werden. Ein öffentlich zugängliches Buch ist ein Buch, das niemals Urheberrechten unterlag oder bei dem die Schutzfrist des Urheberrechts abgelaufen ist. Ob ein Buch öffentlich zugänglich ist, kann von Land zu Land unterschiedlich sein. Öffentlich zugängliche Bücher sind unser Tor zur Vergangenheit und stellen ein geschichtliches, kulturelles und wissenschaftliches Vermögen dar, das häufig nur schwierig zu entdecken ist.

Gebrauchsspuren, Anmerkungen und andere Randbemerkungen, die im Originalband enthalten sind, finden sich auch in dieser Datei – eine Erinnerung an die lange Reise, die das Buch vom Verleger zu einer Bibliothek und weiter zu Ihnen hinter sich gebracht hat.

Nutzungsrichtlinien

Google ist stolz, mit Bibliotheken in partnerschaftlicher Zusammenarbeit öffentlich zugängliches Material zu digitalisieren und einer breiten Masse zugänglich zu machen. Öffentlich zugängliche Bücher gehören der Öffentlichkeit, und wir sind nur ihre Hüter. Nichtsdestotrotz ist diese Arbeit kostspielig. Um diese Ressource weiterhin zur Verfügung stellen zu können, haben wir Schritte unternommen, um den Missbrauch durch kommerzielle Parteien zu verhindern. Dazu gehören technische Einschränkungen für automatisierte Abfragen.

Wir bitten Sie um Einhaltung folgender Richtlinien:

+ *Nutzung der Dateien zu nichtkommerziellen Zwecken* Wir haben Google Buchsuche für Endanwender konzipiert und möchten, dass Sie diese Dateien nur für persönliche, nichtkommerzielle Zwecke verwenden.

+ *Keine automatisierten Abfragen* Senden Sie keine automatisierten Abfragen irgendwelcher Art an das Google-System. Wenn Sie Recherchen über maschinelle Übersetzung, optische Zeichenerkennung oder andere Bereiche durchführen, in denen der Zugang zu Text in großen Mengen nützlich ist, wenden Sie sich bitte an uns. Wir fördern die Nutzung des öffentlich zugänglichen Materials für diese Zwecke und können Ihnen unter Umständen helfen.

+ *Beibehaltung von Google-Markenelementen* Das "Wasserzeichen" von Google, das Sie in jeder Datei finden, ist wichtig zur Information über dieses Projekt und hilft den Anwendern weiteres Material über Google Buchsuche zu finden. Bitte entfernen Sie das Wasserzeichen nicht.

+ *Bewegen Sie sich innerhalb der Legalität* Unabhängig von Ihrem Verwendungszweck müssen Sie sich Ihrer Verantwortung bewusst sein, sicherzustellen, dass Ihre Nutzung legal ist. Gehen Sie nicht davon aus, dass ein Buch, das nach unserem Dafürhalten für Nutzer in den USA öffentlich zugänglich ist, auch für Nutzer in anderen Ländern öffentlich zugänglich ist. Ob ein Buch noch dem Urheberrecht unterliegt, ist von Land zu Land verschieden. Wir können keine Beratung leisten, ob eine bestimmte Nutzung eines bestimmten Buches gesetzlich zulässig ist. Gehen Sie nicht davon aus, dass das Erscheinen eines Buchs in Google Buchsuche bedeutet, dass es in jeder Form und überall auf der Welt verwendet werden kann. Eine Urheberrechtsverletzung kann schwerwiegende Folgen haben.

Über Google Buchsuche

Das Ziel von Google besteht darin, die weltweiten Informationen zu organisieren und allgemein nutzbar und zugänglich zu machen. Google Buchsuche hilft Lesern dabei, die Bücher dieser Welt zu entdecken, und unterstützt Autoren und Verleger dabei, neue Zielgruppen zu erreichen. Den gesamten Buchtext können Sie im Internet unter `http://books.google.com` durchsuchen.

$B 24 355

QC
605
E46

Die

Akkumulatoren.

Eine gemeinfassliche Darlegung ihrer Wirkungsweise, Leistung und Behandlung.

Von

Dr. Karl Elbs,
a. Professor an der Universität Giessen.

Dritte vermehrte und verbesserte Auflage.

Mit 8 Figuren im Text.

Leipzig,
Johann Ambrosius Barth.
1901.

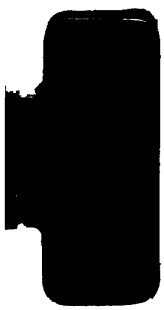
YE 11059

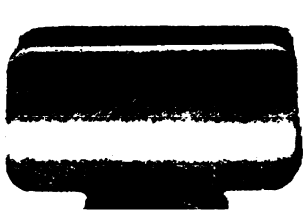
LIBRARY
OF THE
UNIVERSITY OF CALIFORNIA.

Class

LIBRARY
OF THE
UNIVERSITY OF CALIFORNIA.

Class





Die

Akkumulatoren.

Eine gemeinfassliche Darlegung ihrer Wirkungsweise, Leistung und Behandlung.

Von

Dr. Karl Elbs,
o. Professor an der Universität Giessen.

Dritte vermehrte und verbesserte Auflage.

Mit 3 Figuren im Text.

Leipzig,
Johann Ambrosius Barth.
1901.

QC605
E46

Übersetzungsrecht vorbehalten.

Vorwort zur ersten Auflage.

Bis vor wenigen Jahren fanden die Akkumulatoren fast nur in der Elektrotechnik Anwendung; jetzt verdrängen sie allmählich auch in den Laboratorien, in den Schulen und in der ärztlichen Praxis die galvanischen Elemente. In Folge dessen macht sich in weiteren Kreisen das Bedürfnis geltend, mit der Einrichtung, Verwendung und Behandlung kleiner Akkumulatorbatterien sich vertraut zu machen. Diesen Zweck soll das vorliegende Schriftchen in möglichster Kürze und Einfachheit erfüllen.

Freiburg i/B., im Frühjahr 1893.

Vorwort zur zweiten Auflage.

An empfehlenswerten ausführlichen Werken über Akkumulatoren herrscht kein Mangel; wenn gleichwohl das vorliegende Schriftchen einen grösseren Leserkreis gefunden hat, so verdankt es ihn seiner Kürze und Einfachheit. Diese Eigenschaften sollen erhalten bleiben und es ist deshalb eine Ausdrucksweise beibehalten worden, welche, ohne mit anerkannten elektrochemischen Theorien geradezu in Widerspruch zu stehen, doch keine besonderen theoretischen Kenntnisse voraussetzt. Die Änderungen beziehen sich hauptsächlich auf praktisch wichtige Erweiterungen und Ergänzungen.

Giessen, im Sommer 1896.

Vorwort zur dritten Auflage.

Die zahlreichen kleinen Ergänzungen der neuen Auflage haben Umfang und Art des vorliegenden Schriftchens kaum geändert. Möchte es weiterhin dem Leserkreise, für den es bestimmt ist, ein zuverlässiger Ratgeber sein.

Giessen, im Herbst 1900.

LIBRARY
OF THE
UNIVERSITY
OF
CALIFORNIA

Inhaltsverzeichnis.

Seite

1. Kapitel. Die Wirkungsweise der Akkumulatoren . 7

Die chemischen Umsetzungen im DANIELL'schen Elemente. Die Umkehrbarkeit dieser Vorgänge. Die chemischen Umsetzungen im Bleiakkumulator bei der Entladung und ihre Umkehrung bei der Ladung.

2. Kapitel. Die Einrichtung der Akkumulatoren . . 14

Die PLANTÉ-Akkumulatoren. Die Gitterakkumulatoren. Die TUDOR-Akkumulatoren. Die Akkumulatoren mit Masseplatten. Die GÜLCHER-Akkumulatoren. Material und Grösse der Gefässe.

3. Kapitel. Die Leistungsfähigkeit der Akkumulatoren 17

Die elektromotorische Kraft. Der innere Widerstand. Die Änderungen der elektromotorischen Kraft und des Widerstandes während der Entladung und Ladung. Die Kapazität. Die Gewichtsmengen der in Reaktion tretenden Substanzen. Der Nutzeffekt in Ampère-Stunden und in Volt-Ampère-Stunden. Abhängigkeit des Nutzeffektes von der Stromstärke bei der Entladung und Ladung. Die günstigste Stromstärke bei der Ladung und Entladung. Feststellung der Leistungsfähigkeit einer gegebenen Akkumulatorenbatterie. Konstanz des Stromes. Selbstentladung der Akkumulatoren und ihre Ursachen.

4. Kapitel. Die Behandlung der Akkumulatoren . . 30

Füllung der Zellen. Herstellung einer Schwefelsäure von geeigneter Verdünnung und Reinheit.

Ladung der Akkumulatoren. Bezug des Ladestromes von galvanischen Elementen — von einer grösseren Akkumulatorenbatterie — von einer Thermosäule — von einer Dynamo — von einer Lichtleitung. Abnahme der Leistungsfähigkeit ungeladen ruhender Akkumulatoren und die Ursachen dieser Erscheinung. Verbiegung der Platten.

Seite

Entladung der Akkumulatoren. Entladungsstromstärke. Zulässige Grenze der Entladung. Feststellung dieses Punktes durch Berechnung — durch Bestimmung des spezifischen Gewichtes der verdünnten Schwefelsäure — durch Messung der Spannung oder der Stromstärke.

Anhang. Die wichtigsten Einheiten des elektrotechnischen Masssystems 46

Masseinheit der Stromstärke — der elektromotorischen Kraft — des Widerstandes — des Stromeffektes.

Erstes Kapitel.

Die Wirkungsweise der Akkumulatoren.

Wenn wir ein galvanisches Element benutzen, so gehen darin chemische Umsetzungen vor sich; diese chemischen Vorgänge sind die Quelle der Arbeitskraft, welche wir in Form des elektrischen Stromes gewinnen. Verwenden wir beispielsweise ein DANIELL'sches Element, bei welchem Zink in verdünnter Schwefelsäure und Kupfer in Kupfervitriollösung eingetaucht steht, wie es schematisch die Fig. 1 zeigt, so fliesst die positive Elektrizität durch den Schliessungsdraht *l* vom Kupfer zum Zink, in der Flüssigkeit vom Zink durch die verdünnte Schwefelsäurd, die poröse Wand *s* und die Kupfervitriollösung zum Kupfer.

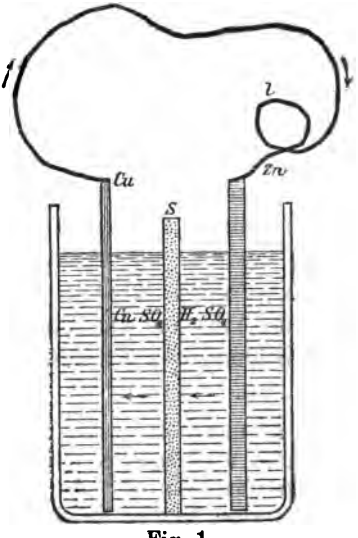


Fig. 1.

Das Zink verbindet sich mit dem Schwefelsäurerest zu Zinkvitriol, der sich löst; der verfügbar gewordene Wasserstoff wandert als Träger der positiven Elektrizität (als Wasserstoffionen,*) nicht in Form von gasförmigen Wasserstoffmolekeln) zum Kupfer, gibt dort seine elektrische Ladung ab, wird jedoch nicht als gasförmiger Wasserstoff frei, sondern setzt sich mit dem Kupfervitriol um zu

*) Die Elektrizität wandert in Elektrolyten, beispielsweise in wässerigen Lösungen von Säuren oder Salzen, an die Ionen gebunden. Ionen

Schwefelsäure und metallischem Kupfer, welches auf dem Kupferblech sich niederschlägt.

Die chemischen Vorgänge verlaufen also im Sinne beistehender Gleichungen:

$$\underset{\text{Zink}}{Zn} + \underset{\text{Schwefelsäure}}{H_2SO_4} = \underset{\text{Zinkvitriol}}{ZnSO_4} + \underset{\text{Wasserstoff}}{2H.}$$

$$\underset{\text{Kupfervitriol}}{CuSO_4} + \underset{\text{Wasserstoff}}{2H} = \underset{\text{Kupfer}}{Cu} + \underset{\text{Schwefelsäure}}{H_2SO_4}.$$

So lange noch Zink und Kupfervitriol vorhanden ist, dauert dieser Umsatz und seine Folge, der elektrische Strom; die Zinkplatte wird fortlaufend in Zinkvitriol verwandelt und aufgelöst, gleichzeitig eine entsprechende Menge Kupfer aus der Kupfervitriollösung abgeschieden und auf das Kupferblech abgelagert. Die Gesamtmenge der Schwefelsäure bleibt die nämliche, da die bei der Auflösung des Zinks verbrauchte und die bei der Zersetzung des Kupfervitriols erzeugte Säure genau gleichwertig ist. Wir verbrauchen also Zink und Kupfervitriol, erhalten Zinkvitriol und Kupfer und gewinnen bei dieser Umwandlung einen elektrischen Strom. Diese Vorgänge sind umkehrbar. Leiten wir einen elektrischen Strom derart in den gebrauchten Daniell, dass die positive Elektrizität beim Kupfer eintritt, durch die Flüssigkeit zum Zink geht und dort wieder austritt, so verbindet sich der Schwefelsäurerest mit dem Kupfer zu Kupfervitriol, der Wasserstoff wandert zum Zink und fällt aus der umgebenden Zinkvitriollösung Zink aus unter Bildung von Schwefelsäure.

---

sind Bruchstücke chemischer Moleküle, welche mit Elektrizität beladen sind; haben die Ionen eine positive (+) Ladung, so bewegen sie sich nach der negativen Elektrode oder Kathode hin und heissen positive Ionen oder Kationen, besitzen sie dagegen eine negative (—) Ladung, so bewegen sie sich nach der positiven Elektrode oder Anode hin und heissen negative Ionen oder Anionen. Die positiven Ionen der Säuren und Salze sind die Säurewasserstoffatome und Metallatome, die negativen Ionen die Säurereste; eine wässerige Lösung von Zinkvitriol $ZnSO_4$ hat hiernach die positiven Ionen $\left(\overset{++}{Zn}\right)$, von Schwefelsäure H_2SO_4 $\left(\overset{+}{H}\right)$, beide Körper dieselben negativen Ionen $\left(\overset{--}{SO_4}\right)$.

H_2SO_4 = 2(H) + (SO_4).
Schwefelsäure Wasserstoff Schwefelsäurerest

Ionen der Schwefelsäure, welche durch den Strom an der Zink- bezw. Kupferplatte zur Abscheidung gelangen.

Cu + (SO_4) = $CuSO_4$.
Kupfer Schwefelsäurerest Kupfervitriol

$ZnSO_4$ + 2(H) = Zn H_2SO_4.
Zinkvitriol Wasserstoff Zink Schwefelsäure

Wenn wir die Zufuhr von Elektrizität lange genug fortsetzen, so bringen wir das Element wieder in den nämlichen Zustand, worin es sich befand, bevor es uns einen Strom geliefert hatte. Dieses Spiel können wir beliebig oft wiederholen. Statt von Zeit zu Zeit eine neue Zinkplatte einzusetzen und frischen Kupfervitriol zuzugeben, können wir auch gelegentlich einen Strom so durch das Element leiten, dass das aufgelöste Zink wieder abgeschieden und das ausgefällte Kupfer wieder gelöst wird. Mit anderen Worten, das DANIELL'sche Element kann als Akkumulator gebraucht werden; denn Akkumulatoren sind nichts anderes, als galvanische Elemente von solcher Art, dass die darin ablaufenden Prozesse umkehrbar sind. Ein Akkumulator speichert Elektrizität, die man ihm zugeführt hat, in Form von chemischen Verbindungen auf, welche im Stande sind, unter Erzeugung von Elektrizität wieder in die ursprünglichen Substanzen überzugehen. Solche Substanzen sind im obigen Beispiele Zink und Kupfervitriol; ein bestimmtes Gewicht Zink und Kupfervitriol entspricht einer bestimmten Elektrizitätsmenge, einem elektrischen Strom von bestimmter Stärke und Dauer; haben wir diesen dem Elemente zu einer Zeit entnommen unter Bildung von Zinkvitriol und Kupfer, so können wir zu andrer Zeit dem Elemente wieder die nämliche Elektrizitätsmenge zuführen, damit den ursprünglichen Vorrat an Zink und Kupfervitriol wieder herstellen, also im Elemente, die diesem Vorrate entsprechende Elektrizitätsmenge aufspeichern. Zink und Kupfervitriol sind im DANIELL'schen Elemente so zu sagen die Dauerform einer gewissen Menge von Elektrizität.

Akkumulatoren sind also Apparate, um abwechselnd

chemische Energie in elektrische und elektrische Energie in aufbewahrbare chemische Energie umzuwandeln. Das Daniell-sche Element ist aus verschiedenen Gründen für diesen Zweck unvorteilhaft und unpraktisch.

Alle bis jetzt hergestellten praktisch brauchbaren Akkumulatoren beruhen auf einem andern chemischen Prozesse, nämlich auf den Reaktionen zwischen Blei und Bleiverbindungen in Gegenwart von verdünnter Schwefelsäure. Als metallische Leiter dienen Bleiplatten; die einen sind bedeckt mit einer Schicht von porösem, schwammigem Blei, die andern mit porösem Bleisuperoxyd; beiderlei Platten stehen ohne trennende poröse Wand in der nämlichen Flüssigkeit, in verdünnter Schwefelsäure. Die verschiedenen Arten von Akkumulatoren unterscheiden sich lediglich durch die Art, wie die wirksamen Schichten von Bleischwamm und Bleisuperoxyd erzeugt und wie sie auf dem metallischen Bleikern befestigt werden. Der chemische Vorgang, welcher den Entladungsstrom des Akkumulators erzeugt, ist im wesentlichen folgender:

An der negativen Polplatte verwandelt sich das schwammige Blei durch den Angriff der verdünnten Schwefelsäure in schwefelsaures Blei; der dabei verfügbar werdende Wasserstoff wandert als Träger positiver Elektrizität zur positiven Platte, gibt dort seine Ladung ab und würde als freier Wasserstoff in Gasform erscheinen, wenn er nicht durch das an der positiven Platte vorhandene Bleisuperoxyd der Oxydation zu Wasser anheimfiele. Das Superoxyd verwandelt sich dabei in Bleioxyd, welches durch die Schwefelsäure in schwefelsaures Blei übergeht. In der Flüssigkeit strömt also die positive Elektrizität von der Bleischwammplatte zur Bleisuperoxydplatte und von dieser im Schliessungsdrahte zur Bleischwammplatte. Die chemische Umsetzung und damit auch der Strom dauert an, bis Bleischwamm und Bleisuperoxyd in schwefelsaures Blei verwandelt sind; an beiden Platten wird hierbei Schwefelsäure verbraucht. Die folgenden Gleichungen veranschaulichen die Vorgänge bei der Entladung:

An der negativen Platte:

$$\underset{\text{schwammig. Blei}}{Pb} + \underset{\text{Schwefelsäure}}{H_2SO_4} = \underset{\text{schwefels. Blei}}{PbSO_4} + \underset{\text{Wasserstoff}}{2H}.$$

An der positiven Platte:

$$PbO_2 + 2H = PbO + H_2P.$$

poröses Bleisuperoxyd Wasserstoff Bleioxyd Wasser

$$PbO + H_2SO_4 = PbSO_4 + H_2O.$$

Bleioxyd Schwefelsäure schwefelsaures Blei Wasser

Diese Prozesse sind umkehrbar; wenn wir dem entladenen Akkumulator einen umgekehrt gerichteten Strom, einen Ladestrom, zuführen, so machen wir die gesamten chemischen Veränderungen rückgängig. Als Elektrolyt dient die verdünnte Schwefelsäure im Sinne der Gleichung:

$$H_2SO_4 = 2(H) + (SO_4).$$

Schwefelsäure Wasserstoff Schwefelsäurerest

Der an der positiven Platte eintretende Strom scheidet dort den Schwefelsäurerest (SO_4) ab, welcher, im freien Zustande nicht existenzfähig, sich mit dem schwefelsauren Blei unter Mithilfe von Wasser zu Bleisuperoxyd und freier Schwefelsäure umsetzt:

$$PbSO_4 + (SO_4) + 2H_2O$$

1 Mol. schwefelsaur. Blei 1 Schwefelsäurerest 2 Mol. Wasser

$$= PbO_2 + 2H_2SO_4.$$

1 Mol. Bleisuperoxyd 2 Mol. Schwefelsäure

An der negativen Platte scheidet der austretende Strom die dem Reste (SO_4) entsprechende Menge Wasserstoff 2 (H) aus, welcher nicht gasförmig entweicht, sondern das schwefelsaure Blei unter Bildung von Schwefelsäure zu Blei reduziert, das sich in porösem Zustande als Bleischwamm auf der Platte ablagert:

$$PbSO_4 + 2(H) = Pb + H_2SO_4.$$

schwefelsaures Blei Wasserstoff Blei Schwefelsäure

Hat der Ladestrom lange genug gewirkt, so ist der Akkumulator wieder völlig im ursprünglichen leistungsfähigen Zustande; die positive Platte ist wieder mit Bleisuperoxyd, die negative mit Bleischwamm überzogen und der während der Entladung an Blei gebundene Anteil der Schwefelsäure ist wieder frei gemacht. Wenn wir nach Erreichung dieses Zustandes den Ladestrom nicht unterbrechen, so treten nun diejenigen Produkte auf, welche wir bei der Elektrolyse verdünnter

Schwefelsäure zwischen unangreifbaren Elektroden, etwa Platinblechen, zu erhalten gewöhnt sind: freier Wasserstoff und freier Sauerstoff in dem Verhältnisse, wie sie im Wasser verbunden vorhanden sind, also Knallgas; an der Eintrittsstelle des (positiven) Stromes, an der Anode, erscheint der Sauerstoff als Umsetzungsprodukt des hier auftretenden (SO_4)-Restes mit dem Lösungswasser, an der Austrittsstelle, an der Kathode, der Wasserstoff:

$$\underset{\text{Schwefelsäure}}{H_2SO_4} = \underset{\text{Wasserstoff}}{2(H)} + \underset{\text{Schwefelsäurerest}}{(SO_4)}.$$

An der Anode:

$$\underset{\text{Schwefelsäurerest}}{(SO_4)} + \underset{\text{Wasser}}{H_2O} = \underset{\text{Schwefelsäure}}{H_2SO_4} + \underset{\text{Sauerstoff}}{O}.$$

An der Kathode:

$$2(H) = H_2.$$

Von diesem Zeitpunkte ab wird also weiter zugeführte Elektrizität nicht mehr im Akkumulator in Form von Bleisuperoxyd und Blei aufgespeichert, sondern sie liefert nutzlos entweichendes Knallgas.

Übersichtlich zusammengestellt sind also die im Akkumulator zwischen dem flüssigen Leiter, der verdünnten Schwefelsäure, und der aktiven Masse, den porösen Schichten auf der positiven und negativen Platte, stattfindenden chemischen Vorgänge folgende:

α) Bei der Entladung:

An der negativen Platte Angriff der verdünnten Schwefelsäure auf den Bleischwamm und Wanderung des verfügbar gewordenen Wasserstoffs zur positiven Platte.

$$\underset{\text{Blei}}{Pb} + \underset{\text{Schwefelsäure}}{H_2SO_4} = \underset{\text{schwefelsaur. Blei}}{PbSO_4} + \underset{\text{Wasserstoff}}{2(H)}$$

An der positiven Platte Oxydation des Wasserstoffs zu Wasser durch das Bleisuperoxyd und Verwandlung des entstandenen Bleioxydes in schwefelsaures Blei.

$$\underset{\text{Bleisuperoxyd}}{PbO_2} + \underset{\text{Wasserstoff}}{2(H)} = \underset{\text{Bleioxyd}}{PbO} + \underset{\text{Wasser}}{H_2O}.$$

$$\underset{\text{Bleioxyd}}{PbO} + \underset{\text{Schwefelsäure}}{H_2SO_4} = \underset{\text{schwefelsaur. Blei}}{PbSO_4} + \underset{\text{Wasser}}{H_2O}.$$

Am Schlusse der Entladung sind also positive und negative Platte gleicher Weise mit porösem, schwefelsaurem Blei bedeckt, der Strom hört folglich auf, und ein Teil des Vorrates von freier Schwefelsäure ist an Blei gebunden.

b) Bei der Ladung:

Elektrolyse der verdünnten Schwefelsäure durch den Ladestrom

$$\overbrace{H_2SO_4}^{\text{Schwefelsäure}} = \overbrace{2(H)}^{\text{Wasserstoff}} + \overbrace{SO_4}^{\text{Schwefelsäurerest}}.$$

An der positiven Platte, wo der Ladestrom eintritt, Oxydation des schwefelsauren Bleies zu Bleisuperoxyd

$$\overbrace{PbSO_4}^{\text{schwefels. Blei}} + \overbrace{(SO_4)}^{\text{Schwefelsäurerest}} + \overbrace{2H_2O}^{\text{Wasser}} = \overbrace{PbO_2}^{\text{Bleisuperoxyd}} + \overbrace{2H_2SO_4}^{\text{Schwefelsäure}}.$$

An der negativen Platte, wo der Ladestrom austritt, Reduktion des schwefelsauren Bleies zu schwammigem Blei

$$\overbrace{PbSO_4}^{\text{schwefels. Blei}} + \overbrace{2(H)}^{\text{Wasserstoff}} = \overbrace{Pb}^{\text{Blei}} + \overbrace{H_2SO_4}^{\text{Schwefelsäure}}.$$

Am Schlusse der Ladung ist die negative Platte mit Bleischwamm, die positive mit Bleisuperoxyd bedeckt, gerade wie zu Beginn der Entladung, und die an Blei gebundene Schwefelsäure ist wieder frei geworden.

Zweites Kapitel.

Einrichtung der Akkumulatoren.

Wie schon erwähnt, unterscheiden sich die verschiedenen Arten der jetzt gebräuchlichen Akkumulatoren nur durch die Art, wie die aktive Masse — das schwammige Blei und das poröse Bleisuperoxyd — auf den Platten erzeugt und festgehalten wird. Der Erfinder der Akkumulatoren, Gaston Planté,

gewann dadurch einen wirksamen Überzug der Bleiplatten, dass er sie in verdünnter Schwefelsäure abwechselnd als Elektroden benutzte und nachher leitend unter sich verband.

In verdünnter Schwefelsäure überziehen sich nämlich Bleiplatten mit einer sehr dünnen Haut von schwefelsaurem Blei, welches beim Durchgang eines Stromes an der Anode zu Bleisuperoxyd oxydiert, an der Kathode zu schwammigem Blei reduziert wird; verbindet man hierauf die beiden Platten durch einen Schliessungsdraht, so werden ihre Belegungen in poröses schwefelsaures Blei verwandelt und während dieser Verwandlung fliesst ein Strom durch den Schliessungsdraht von der Bleisuperoxydelektrode zur Bleischwammelektrode, also in umgekehrter Richtung, wie anfänglich. Durch das poröse schwefelsaure Blei hindurch bleibt aber die Oberfläche des massiven Bleies immer noch dem Angriff der Schwefelsäure unter Bildung von schwefelsaurem Blei ausgesetzt, welches bei abermaliger Ladung wieder in Superoxyd bezw. Bleischwamm übergeht. Wird diese abwechselnde Ladung und Entladung, die sogen. Formierung monatelang fortgesetzt, so summiert sich die jedesmal nur sehr geringfügige Wirkung und es entstehen auf den Platten bis zu 1 mm dicke, sehr wirksame und festhaftende Belegungen aus Bleisuperoxyd und Bleischwamm.

Den langwierigen und kostspieligen Prozess der Formierung kann man dadurch umgehen, dass man feinverteiltes metallisches Blei oder Oxyde des Bleies oder schwefelsaures Blei für sich oder unter Zusatz von Stoffen, welche ein Erhärten der breiigen oder pulverigen Massen bewirken, zwischen die Maschen verschiedenartig geformter Gitter einstreicht oder einwalzt. Diese Gitter bestehen aus Blei oder Legierungen des Bleies, die von Schwefelsäure kaum angegriffen werden, also an den chemischen Vorgängen im Akkumulator sich nicht beteiligen. Unter diesen Umständen kann sich die Formierung auf eine einzige Ladung und Entladung beschränken, wodurch der ganze Gehalt an Bleiverbindungen in aktive Masse übergeführt wird. Eine derartige Einrichtung zeigen die meisten Gitterakkumulatoren. Vom rein theoretischen Standpunkte ist es vollkommen gleichgültig, ob die Füllmasse der Gitter aus Blei oder Oxyden des Bleies oder schwefelsaurem Blei oder

LIBRARY OF THE UNIVERSITY OF CALIFORNIA

aus Gemischen dieser Körper besteht, ob die positiven Gitter eine andere Füllung als die negativen erhalten oder die gleiche; denn nach einmaliger Benutzung schon bildet eben im geladenen Zustande Bleisuperoxyd die Belegung der positiven Platten, Bleischwamm die der negativen; ausschliesslich Gründe technischer Zweckmässigkeit sind für die Verwendung bestimmter Füllmassen für die verschiedenen Fabriken massgebend.

Ein Mittelding zwischen den ursprünglichen Planté-Akkumulatoren und den soeben besprochenen Gitterakkumulatoren stellen die Tudor-Akkumulatoren dar, wie sie von den Akkumulatorenwerken in Hagen i. W. fabriziert werden. Die Platten sind hier wagerecht gerieft und nach Planté formiert; zugleich sind aber die Riefen mit eingestrichener aktiver Masse ausgefüllt. Während des Gebrauches fällt allerdings die in den Nuten nur lose haftende Masse allmählich heraus; allein dies bringt keinen Schaden, weil ja gleichzeitig durch die fortwährenden Ladungen und Entladungen der arbeitenden Akkumulatoren die nach dem Planté'schen Formierungsprozesse sich bildende wirksame Masse in gleichem Massstabe zunimmt, wie die Nutenfüllung verloren geht.

Zellen für sehr rasche Ladung und Entladung enthalten Planté-Bleisuperoxydplatten mit grosser wirksamer Oberfläche und Gitter-Bleischwammplatten. Bei den Gülcher-Akkumulatoren, welche leichte Tragbarkeit mit guter Leistungsfähigkeit und Dauerhaftigkeit vereinigen, befindet sich die aktive Masse in Taschen aus einem Gewebe, dessen Kette aus Bleidrähten, dessen Schuss aus Glaswollsträngen besteht.

Als eine weitere Art von Akkumulatoren sind die Zellen mit Masseplatten anzusehen; hier enthält die Platte keinerlei Gitter oder Kern aus Blei, sondern sie besteht ganz aus poröser aktiver Masse (daher der Name), welche durch kleine Zusätze und bestimmte Behandlung so fest und widerstandsfähig gemacht ist, dass die Platte keinen anderen Halt braucht als eine einfache Bleiumrahmung, die zugleich als Stromleiter dient.

Müssen Akkumulatoren nicht sehr oft ihren Platz wechseln, so empfiehlt es sich, nicht sogenannte transportable, sondern gewöhnliche Zellen zu wählen, da diese billiger anzuschaffen und leichter in gutem Zustande zu erhalten sind.

In den Akkumulatorzellen steht immer eine positive, braune Bleisuperoxydplatte zwischen zwei negativen, grauen Bleischwammplatten; die Anzahl der negativen Platten einer Zelle übersteigt also stets die der positiven um eine. Alle positiven und ebenso alle negativen Platten einer Zelle sind untereinander metallisch verbunden; der eine aus der Zelle hervorragende Bleistreif bildet den positiven, der andere den negativen Pol.

Damit kein Kurzschluss zwischen den benachbarten entgegengesetzten Platten durch abfallende Füllmasse eintreten kann, stehen die Platten nicht auf dem Boden der Gefässe, sondern sie ruhen auf Glasprismen oder Glasstreifen, oder noch besser, sie sind so aufgehängt, dass ihre unteren Enden noch einige Centimeter vom Boden entfernt bleiben.

Die kleinen leicht tragbaren Typen, wovon hier hauptsächlich die Rede ist, sind gewöhnlich durch Deckel aus Porzellan oder Glas lose verschlossen oder auch ganz zugekittet und nur mit einer verschliessbaren Öffnung zum Einfüllen der verdünnten Schwefelsäure und zum Austritt von Gasen versehen. Bequem ist es, wenn die Platten leicht auswechselbar sind; denn gewöhnlich haben die Superoxydplatten eine weit kürzere Lebensdauer als die Bleischwammplatten, so dass eine unbrauchbar gewordene Zelle durch Einsatz neuer Superoxydplatten wieder hergestellt werden kann.

Glasgefässe sind Gefässen aus Hartgummi oder Ölpappe vorzuziehen, da sie die Vorgänge in den Zellen und den Zustand der Platten zu beobachten gestatten, was bei den anderen ihrer Undurchsichtigkeit wegen ausgeschlossen ist. Durch Einsetzen in geeignete Holzbehälter sind die Gläser vor Bruch leicht zu schützen. Behälter aus Celluloïd sind ihrer Leichtigkeit, Durchsichtigkeit und Elastizität wegen sehr bequem, aber von etwas zweifelhafter Brauchbarkeit für Akkumulatoren, welche eine lange Lebensdauer haben sollen; denn manche Sorten von Celluloïd geben nach einiger Zeit allmählich Salpetersäure an die Schwefelsäure ab und derartig verunreinigte Schwefelsäure zerstört die Platten bald.

Um die Zellen bei einer bestimmten Leistungsfähigkeit möglichst klein und leicht machen zu können, werden häufig Gefässe verwendet, in welchen für die verdünnte Schwefelsäure

nur wenig Raum übrig bleibt. Da aber die Schwefelsäure keineswegs nur als flüssiger Leiter dient, sondern an den chemischen Umsetzungen im Akkumulator wesentlich beteiligt ist, so darf man hier unter eine gewisse Grenze nicht herunter gehen; für je 1 ASt (Ampère-Stunde) Kapazität 25 Ccm, also beispielsweise für eine Zelle von 20 ASt 500 Ccm verdünnte Schwefelsäure von 1,15 spez. Gewichte dürfte für kleinere Akkumulatoren die geringste zulässige Menge sein.

Die zahlreichen Einrichtungen, welche man an den aus gewöhnlichen galvanischen Elementen zusammengestellten Batterien anbringt, um die Spannung und Stärke des Stromes zu regeln, seine Richtung und Verteilung zu ändern, die Tragbarkeit des ganzen Apparates zu erleichtern, findet man natürlich auch an Akkumulatorbatterien, welche ähnlichen Zwecken dienen. Hier aber sind alle diese Einrichtungen dauerhafter und leichter gebrauchsfähig zu erhalten, weil hier das häufige Entleeren und Neueinfüllen von sauren Flüssigkeiten, das lästige Auskrystallisieren von Salzen und die Entwickelung von Gasen, welche die Metallteile angreifen, wegfällt.

Drittes Kapitel.

Die Leistungsfähigkeit der Akkumulatoren.

Das Element (Blei, verdünnte Schwefelsäure, Bleisuperoxyd) hat eine elektromotorische Kraft von 2 Volt;*) es übertrifft hierin alle gebräuchlichen galvanischen Elemente; die elektromotorische Kraft eines Daniell'schen Elementes beträgt 1,07 V, die eines Bunsen'schen oder Grove'schen etwa 1,8 V. Da die elektromotorische Kraft nur von den im Elemente stattfindenden chemischen Prozessen abhängt, so ist sie unabhängig von der Grösse des Apparates. Dagegen ist ein anderer Faktor der Leistungsfähigkeit von der Plattengrösse abhängig, nämlich der innere Widerstand. Auch in diesem Punkte zeichnen sich

*) Siehe: Anhang. Die wichtigsten elektrotechnischen Masseinheiten.

die Akkumulatoren vorteilhaft aus, da ihr innerer Widerstand verhältnismässig sehr klein ist, weil die verdünnte Schwefelsäure gut leitet, die Platten in geringer Entfernung sich gegenüber stehen und poröse Scheidewände — Thonzellen — fehlen. Der innere Widerstand kleiner Akkumulatoren beträgt 0,01 bis 0,1 Ω,*) der eines Daniell gewöhnlicher Grösse etwa 2 Ω, eines grossen Bunsen ungefähr 0,3 Ω. Übrigens ändern sich elektromotorische Kraft und innerer Widerstand eines Akkumulators innerhalb bestimmter enger Grenzen in gesetzmässiger Weise. Eine soeben vollständig geladene Zelle zeigt eine Spannung von etwa 2,4 V; wird der Strom geschlossen, so sinkt die Spannung in wenigen Minuten auf rund 2 V und bleibt nun lange nahezu konstant, indem sie anfänglich sehr langsam, später etwas rascher auf etwa 1,8 V zurückgeht. Bleibt von diesem Zeitpunkte an der Strom noch fernerhin geschlossen, so zeigt sich ein plötzlicher Spannungsabfall, der Akkumulator verhält sich nunmehr wie ein inkonstantes Element.

Die Erklärung dieses Verhaltens ist sehr einfach. Die hohe Spannung von 2,4 V entspricht dem Zustande sofort nach der Ladung, wo die Platten noch mit Gasen, die positiven mit Sauerstoff, die negativen mit Wasserstoff, beladen sind und zugleich die in den Platten durch den Ladevorgang erzeugte Schwefelsäure wegen langsamer Diffusion noch nicht auf die mittlere Dichte verdünnt ist. Die elektromotorische Kraft des Bleiakkumulators nimmt aber mit steigender Säuredichte zu. Schliesst man den Strom, so werden gleichzeitig die Gase und die Schwefelsäure rasch verbraucht; in dem Masse, als das geschieht, sinkt die elektromotorische Kraft auf 2 V. 2 V ist die Normalspannung, welche dem Elemente (Blei, Schwefelsäure von 1,16 spez. Gew., Bleisuperoxyd) zukommt; die geringe Abnahme, im Ganzen etwa 10 %, während der ganzen Dauer der Entladung rührt davon her, dass die Säure sich verdünnt und der wirksamen Masse, Bleischwämm und Bleisuperoxyd, sich fortwährend mehr schwefelsaures Blei beimengt, wodurch der Ablauf der chemischen Umsetzungen eine stets zunehmende Verzögerung erleidet. Der pötzliche Spannungsabfall zeigt sich, sobald die

*) Siehe: Anhang. Die wichtigsten elektrotechnischen Masseinheiten.

wirksame Masse, vornehmlich das Bleisuperoxyd, keine ausreichend zusammenhängende Masse mehr bildet, sondern stellenweise nur noch schwefelsaures Blei vorhanden ist, womit die Depolarisation unterbrochen, das Element inkonstant wird. In konstanten galvanischen Elementen tritt unter ähnlichen Verhältnissen der nämliche plötzliche Spannungsabfall ein, beispielsweise, wenn in einem Daniell der Kupfervitriol, in einem Bunsen die Salpetersäure (oder Chromsäure) zu Ende geht. Beim praktischen Gebrauche dürfen die Akkumulatoren nur soweit entladen werden, bis die Spannung der einzelnen Zellen auf ungefähr 1,8 V gesunken ist; dann sind sie von neuem zu laden.

Beim Laden steigt die elektromotorische Gegenkraft binnen weniger Minuten von 1,8 V auf 2,1 V, bleibt lange Zeit dabei stehen und wächst darauf zuerst langsam, dann schnell bis auf 2, 4 V. Die normale elektromotorische Gegenkraft (Polarisationsspannung) beträgt 2,1 V und entspricht der Umwandlung von schwefelsaurem Blei durch die vom Ladestrome ausgeschiedenen Ionen der Schwefelsäure einerseits in schwammiges Blei, andrerseits in Bleisuperoxyd; ist diese Reaktion grösstenteils durchgeführt, also wenig schwefelsaures Blei gemischt mit viel Blei bezw. Bleisuperoxyd in den Belegungen vorhanden, so beginnt allmählich an vereinzelten Stellen Wasserstoff und Sauerstoff und damit die entsprechende, höhere Polarisationsspannung aufzutreten; die elektromotorische Gegenkraft nimmt von jetzt ab rasch zu und erreicht 2,4 V, wenn die Gasentwickelung in vollem Gange, der Akkumulator also vollkommen geladen ist.

Der innere Widerstand eines Akkumulators nimmt während der Entladung erst sehr langsam, dann rascher zu, umgekehrt bei der Ladung erst rasch, dann langsam ab. Es steigt nämlich der Leitungswiderstand einer verdünnten Schwefelsäure von 1,15 spezifischem Gewichte bei weiterer Verdünnung und zwar nicht proportional der Verdünnung, sondern rascher. Nun wird nach den Darlegungen des vorigen Kapitels bei der Entladung Schwefelsäure verbraucht, bei der Ladung dagegen freigemacht, wodurch die genannten Widerstandsänderungen sich erklären. Je geringer im Interesse einer geringen Raumbeanspruchung und eines geringen Gewichtes die Flüssigkeitsmenge einer Akku-

mulatorzelle im Vergleich zu ihrer wirksamen Masse ist, um so grösser sind die Konzentrationsänderungen der Schwefelsäure und somit auch die Anderungen des inneren Widerstandes während der Ladung und Entladung; meist sind jedoch diese Widerstandsänderungen ohne praktische Bedeutung.

Von der Grösse des Akkumulators oder, genauer ausgedrückt, von dem Gewichte seiner wirksamen Substanz hängt die Menge der Elektrizität ab, welche man darin aufspeichern kann; diese Elektrizitätsmenge, gemessen in A St (Ampère-Stunden), nennt man die Kapazität des Akkumulators. Beispielsweise versteht man unter einem Akkumulator von 20 A St einen solchen, welcher 20 Stunden lang einen Strom von 1 A, oder 10 Stunden einen Strom von 2 A oder 5 Stunden einen von 4 A liefern kann, bis er wieder geladen werden muss oder umgekehrt, welchem ein Strom von 1 A 20 Stunden lang, oder einer von 2 A 10 Stunden lang zugeführt werden muss, bis er geladen ist. Die im ersten Kapitel aufgestellten Umsetzungsgleichungen gestatten eine annähernd richtige Veranschaulichung, um welche Substanzmengen es sich hierbei handelt. 3,87 g ist das elektrochemische Äquivalent des Bleies in A St, d. h. ein Strom von 1 A scheidet in 1 Stunde 3,87 g metallisches Blei aus einer Bleiverbindung ab oder führt bei umgekehrter Richtung 3,87 g metallisches Blei in eine Bleiverbindung über. Für 1 A St werden also

verbraucht: Bleischwamm (an der negativen Platte) 3,87 g
Bleisuperoxyd (an der positiven Platte) 4,47 g
Schwefelsäure (an beiden Platten zusammen) 3,67 g
entsprechend einer verdünnten Schwefelsäure von 1,15 spez. Gew. = 20 % Gehalt, wie sie thatsächlich als Füllung im Akkumulator vorhanden ist 18,35 g

u. erzeugt: schwefels. Blei (auf beiden Platten zusammen) 11,33 g

Diese Umsetzungen verlaufen nicht völlig quantitativ, sondern sind von geringfügigen Nebenreaktionen begleitet; dazu kommt, dass ein allerdings unbedeutender Teil des dem Akkumulator zugeführten Stromes bei Überwindung des inneren Widerstandes sich in Wärme umwandelt, die nicht nutzbar ist. Man kann also selbstverständlich keineswegs alle einem Akku-

mulator zugeführte Elektrizität wieder gewinnen, weder ihrer Menge noch ihrem Energiewerte nach, und die Frage nach dem Nutzeffekte eines Akkumulators ist daher von grosser Bedeutung. Es ist zu unterscheiden zwischen dem Wirkungsgrade in A St (Ampère-Stunden) und dem in V A St (Volt-Ampère-Stunden) oder kürzer W St (Watt-Stunden).

Von 100 A St., die man bei der Ladung einem Akkumulator zugeführt hat, erhält man 90—96 A St bei der Entladung wieder zurück. Der Nutzeffekt in A St beträgt also 90 %—96 %, ist folglich so günstig, dass man die Verluste beim Rechnen mit runden Zahlen vernachlässigen kann.

Geringer, nur etwa 76 %—88 % ist der Nutzeffekt in V A St. Dies rührt daher, dass die elektromotorische Gegenkraft des Akkumulators bei der Ladung merklich höher ist (2,20 V im Mittel), als seine elektromotorische Kraft bei der Entladung (1,95 V im Mittel); 1 A St bei der Ladung besitzt folglich einen höheren Energiewert als 1 A St bei der Entladung und zudem müssen von diesen höherwertigen A St zur Ladung mehr aufgewendet werden, als man an geringerwertigen A St bei der Entladung wieder erhält.

Zur weiteren Erläuterung dieser Verhältnisse ein Beispiel. Ein Akkumulator von 20 A St Fassungsvermögen wurde geladen bis zum Eintritt deutlicher Gasentwickelung und gleich darauf entladen bis zum Beginne des starken Spannungsabfalles; Stromstärke und Spannung wurden in Zwischenräumen von $^1/_8$ Stunde gemessen, gebucht und aus den erhaltenen Werten das Mittel genommen.

I. Ladung. Dauer: 9,2 Stunden.
Mittlere Stromstärke: 2,4 A.
Mittlere Spannung: 2,16 V.

II. Entladung. Dauer: 4,6 Stunden.
Mittlere Stromstärke: 4,5 A.
Mittlere Spannung: 1,98 V.

Zur Ladung waren demnach erforderlich $9{,}2 \cdot 2{,}4 = 22{,}08$ A St.
Bei der Entladung wurde erhalten $4{,}6 \cdot 4{,}5 = 20{,}70$ A St.
Der Wirkungsgrad in A St beträgt folglich $\frac{20{,}70}{22{,}08} = 93{,}7\,\%$.
Ferner erforderte die Ladung $9{,}2 \cdot 2{,}4 \cdot 2{,}16 = 47{,}68$ V A St (Watt-Stunden).
Die Entladung lieferte $4{,}6 \cdot 4{,}5 \cdot 1{,}98 = 40{,}99$ V A St.
Dies entspricht einem Wirkungsgrad in V A St von $\frac{40{,}99}{47{,}69} = 85{,}9\,\%$.

Der Nutzeffekt der Akkumulatoren ist in hohem Grade abhängig von der Stromstärke, mit welcher sie geladen oder entladen werden; denn die durch den Strom bedingten chemischen Umsetzungen erfolgen nicht augenblicklich, sondern bedürfen einer gewissen, wenn auch sehr kurzen Zeit. Eine bestimmte Plattenoberfläche kann in einer gewissen Zeit nur eine gewisse Menge der an ihr zur Abscheidung kommenden Ionen verarbeiten; wird diese Menge überschritten, so geht der Überschuss andere, für die beabsichtigte Wirkung nutzlose Reaktionen ein. Beispielsweise führt der Ladestrom an die positive Platte (SO_4)-Ionen, an die negative (H)-Ionen; diese verwandeln das an beiderlei Platten vorhandene schwefelsaure Blei in Bleisuperoxyd bezw. Blei:

An der positiven Platte:

$$\underset{\text{schwefelsaures Blei}}{PbSO_4} + \underset{\text{Schwefelsäurerest}}{(SO_4)} + \underset{\text{Wasser}}{2H_2O} = \underset{\text{Bleisuperoxyd}}{PbO_2} + \underset{\text{Schwefelsäure}}{2H_2SO_4}.$$

An der negativen Platte:

$$\underset{\text{schwefelsaures Blei}}{PbSO_4} + \underset{\text{Wasserstoff}}{2(H)} = \underset{\text{Blei}}{Pb} + \underset{\text{Schwefelsäure}}{H_2SO_4}.$$

Ist die Menge der gleichzeitig ankommenden Ionen aber zu gross, so finden nicht alle sofort Gelegenheit, mit der aktiven Masse sich umzusetzen; es entweicht an der positiven Platte Sauerstoff, entstanden durch Umsetzung der Schwefelsäurereste mit dem Wasser der verdünnten Schwefelsäure, womit die Zellen gefüllt sind:

$$\underset{\text{Schwefelsäurerest}}{(SO_4)} + \underset{\text{Wasser}}{H_2O} = \underset{\text{Schwefelsäure}}{H_2SO_4} + \underset{\text{Sauerstoff}}{O},$$

an der negativen Platte unmittelbar gebildeter gasförmiger Wasserstoff:

$$2(H) = H_2.$$

Der auf diese Nebenreaktion verwendete Anteil des Ladestromes geht für den Zweck der Ladung verloren. Ähnlich bleibt bei ungewöhnlich kurzer Entladungszeit, also sehr starkem Strom, den entladenen Ionen, vornehmlich dem Wasserstoff, keine Zeit, sich mit den tiefer gelegenen Teilen der aktiven

Masse genügend umzusetzen; sobald die oberflächlichen Schichten in Bleisulfat verwandelt sind, tritt teilweise Polarisation der Superoxydplatten durch nicht oxydierten Wasserstoff ein, die Entladungsspannung ist infolgedessen schon nach kurzer Frist geringer als bei normaler Entladung und später verhält sich der Akkumulator wie ein inkonstantes Element, zeigt raschen Spannungsabfall und erscheint entladen, lange bevor alles Superoxyd aufgebraucht ist. Deshalb liefert eine solche Zelle, nach kurzer Ruhepause mit schwachem Strome entladen, noch eine erhebliche Menge Elektrizität. Allgemein findet man die Kapazität einer Zelle bei sehr langsamer Entladung höher, bei sehr rascher niedriger, als bei normaler Beanspruchung.

So lieferte eine Zelle von 8 A St garantierter Kapazität einen Strom von 0,5 A 18 Stunden, von 1 A — normale Entladungsstromstärke — $8^1/_2$ Stunden, von 2 A $3^3/_4$ Stunden und von 3 A $1^3/_4$ Stunden lang. Ihre thatsächliche Kapazität betrug also im ersten Falle 9, im zweiten $8^1/_2$, im dritten $7^1/_2$ und im vierten gar nur $5^1/_4$ A St.

Bei den am meisten gebräuchlichen Akkumulatortypen schwankt die geeignete Ladezeit zwischen 10 bis 5 Stunden, die geeignete Entladungszeit zwischen 8 bis 4 Stunden; mit anderen Worten, der Ladestrom soll in A zweckmässig $\frac{1}{10}$ bis $\frac{1}{5}$, der Entladestrom $\frac{1}{8}$ bis $\frac{1}{4}$ der Kapazität in A St betragen. Ohne den Akkumulator zu schädigen, aber unter Einbusse an Nutzeffekt darf man übrigens vorübergehend auch stärkere Ströme entnehmen. Für eine Zelle von 20 A St Fassungsvermögen empfiehlt sich hiernach ein Ladestrom von 2 bis 4 A. Bei der Entladung kann die Zelle ungefähr 8 Stunden lang einen Strom von 2,5 A oder 4 Stunden lang einen Strom von 5 A liefern; darüber hinaus nimmt schon der Wirkungsgrad stark ab, und einen Strom von 7 A erhält man nicht $\frac{20}{7} = 2$ Stunden 51 Minuten lang, sondern nur erheblich kürzere Zeit hindurch. Der Betrag dieser Abnahme des Wirkungsgrades hängt wesentlich von der Konstruktion des betreffenden Akkumulators ab und lässt sich nicht allgemein angeben; auch die Empfindlichkeit der Akkumulatoren gegen vorübergehende übermässige

Beanspruchung ist bei den verschiedenen Sorten sehr verschieden. Eine Überanstrengung durch zu starke Stromentnahme, welche bei einer Konstruktion teilweises Herabfallen der aktiven Masse und damit dauernde Schädigung zur Folge hat, äussert sich bei einer anderen nur durch geringen Nutzeffekt, während im übrigen der Akkumulator nach erneuter Ladung sich wieder normal verhält. Von den oben angeführten Normen weichen gewisse Sorten von Akkumulatoren nach beiden Seiten hin ab. So besitzen die GÜLCHER-Akkumulatoren eine grosse Widerstandsfähigkeit gegen Misshandlungen und es gibt Typen von Gitterakkumulatoren, welche selbst 1 stündige Entladung ohne Schaden aushalten und binnen 1—3 Stunden wieder geladen werden können, während anderseits die früher schon genannten Masseplatten ungewöhnlich langsam entladen und geladen werden müssen; man darf als normale Entladezeit 12—14 Stunden, als Ladezeit 16—20 Stunden ansehen. Die Vorteile solcher Masseplattenzellen sind grosse Kapazität im Verhältnis zum Gewicht und sehr geringe Verluste durch Selbstentladung in der Ruhezeit; ihre Verwendung empfiehlt sich also da, wo man nur mit schwachen Strömen laden und entladen, aber grössere Mengen Elektrizität für längere Zeit aufspeichern will.

Diese Angaben reichen hin, um sich Rechenschaft darüber zu geben, was man von einer gegebenen Akkumulatorbatterie verlangen kann, oder wie viele Akkumulatorzellen und von welcher Kapazität notwendig sind, um einer bestimmten Anforderung zu genügen.

Man sei z. B. im Besitze folgender Einrichtung: 8 Akkumulatorzellen von je 8 A St Fassungsvermögen, je vier zu einer Batterie in der Art vereinigt, dass man mittels eines Umschalters je vier Zellen nacheinander oder nebeneinander verbinden kann*); der innere Widerstand einer Zelle betrage im Mittel 0,05 Ω und ebensoviel der Leitungswiderstand einer Umschaltungsvorrichtung; dann gibt die folgende Tabelle eine Übersicht der

*) Man nennt eine Reihe von Zellen nacheinander verbunden oder auf Spannung geschaltet, wenn jeweils der positive Pol der einen mit dem negativen der nächstfolgenden verbunden ist; dabei addieren sich die elektromotorischen Kräfte und die inneren Widerstände; nebeneinander verbunden oder parallel geschaltet heisst eine Reihe von Zellen, wenn alle positiven Pole und ebenso alle negativen miteinander verbunden sind; dabei bleibt

bequem herstellbaren Schaltungsweisen, der entsprechenden Spannungen und zulässigen Maximalstromstärken bei der Entladung:

Schaltung	Spannung	Gesamtwiderstand der Stromquelle	Zulässige Maximalstromstärke bei der Entladung
1. Die Zellen der beiden Batterien nebeneinander, ebenso die Batterien unter sich nebeneinander .	2 V	0,10 Ω	20 A
2. Die Zellen nebeneinander, die Batterien nacheinander	4 V	0,12 Ω	10 A
3. Die Zellen in beiden Batterien nacheinander, die Batterien nebeneinander	8 V	0,20 Ω	5 A
4. Die Zellen nacheinander, ebenso die Batterien	16 V	0,50 Ω	2,7 A

Gemäss dem Ohm'schen Gesetze ist die Stromstärke gleich der Summe der im Stromkreise wirkenden elektromotorischen Kräfte (wobei natürlich elektromotorische Gegenkräfte negativ zu nehmen sind) dividiert durch die Summe der Widerstände:

$$\text{Stromstärke (in A)} = \frac{\text{Summe der elektromotorischen Kräfte (in V)}}{\text{Summe der Widerstände (in Ω)}}.$$

Man ersieht daraus, dass die Schaltungen mit hoher Spannung nur da Verwendung finden dürfen, wo grosse elektromotorische Gegenkräfte oder grosse Widerstände oder beides zugleich im Schliessungskreise vorhanden sind; andernfalls würde die Stromstärke die zulässige Grenze überschreiten. Es handle sich beispielsweise um die Entwickelung von Knallgas durch Elektrolyse von verdünnter Schwefelsäure in einem der gebräuchlichen Voltameter; die elektromotorische Gegenkraft (Polarisation) beträgt hierbei etwa 2,2 V; der innere Widerstand des Voltameters sei 0,6 Ω, der Widerstand der Drahtleitungen 0,5 Ω. Für die Schaltung 3 ergibt sich: Stromstärke $= \frac{8-2{,}2}{0{,}2+0{,}6+0{,}5} = \frac{5{,}8\text{ V}}{1{,}3\text{ Ω}} = 4{,}5$ A, entsprechend einer Ausbeute von $4{,}5 \cdot 10{,}5 = 47{,}2$ Ccm Knallgas in der Minute.

---

die Spannung die eines einzelnen Elementes, der innere Widerstand dagegen ist gleich dem eines Elementes, geteilt durch die Anzahl der Elemente. Die oben genannte Akkumulatorbatterie besitzt also, wenn ihre vier Zellen nacheinander geschaltet sind, eine Spannung von $4 \cdot 2 = 8$ V, einen inneren Widerstand von $4 \cdot 0{,}05 = 0{,}2$ Ω, wenn dagegen nebeneinander geschaltet, eine Spannung von 2 V, einen inneren Widerstand von $\frac{0{,}05}{4} = 0{,}012$ Ω. Näheres über Schaltungsweisen findet man in jedem Lehrbuche der Physik.

Die Schaltung 4 wäre unzulässig $\left(\text{Stromstärke} = \frac{16-2{,}2}{0{,}5+0{,}6+0{,}5}\right.$ $\left. = \frac{13{,}8\ \text{V}}{1{,}6\ \Omega} = 8{,}7\ \text{A}\right)$, die Schaltung 2 wäre viel unwirksamer $\left(\text{Stromstärke} = \frac{4-2{,}2}{0{,}12+0{,}6+0{,}5} = \frac{1{,}8\ \text{V}}{1{,}22\ \Omega} = 1{,}5\ \text{A}\right)$. Um mit grossen Bunsen-Elementen annähernd gleiche Leistung zu erzielen, müsste man 12 Stück zu 6 Doppelelementen verbunden, anwenden: Stromstärke $= \frac{6 \cdot 1{,}8-2{,}2}{6 \cdot \frac{0{,}3}{2}+0{,}6+0{,}5}$ $= \frac{8{,}6\ \text{V}}{2{,}0\ \Omega} = 4{,}3\ \text{A}$.

Ein weiteres Beispiel: Man bedürfe täglich einige Stunden lang einer Betriebskraft von $^1/_{10}$ Pferdestärke; zur Lieferung soll eine Akkumulatorbatterie aufgestellt werden, deren Ladung jede Nacht gelegentlich von einer Dynamo aus besorgt werden kann; es sei ein geeigneter Elektromotor vorhanden, der eine Spannung von 20 V verlangt und mit 50% Nutzeffekt arbeitet. Eine Pferdekraft ist äquivalent einem Strom von 736 VA: wenn der Motor bei einem Nutzeffekt von 50% $^1/_{10}$ Pferdekraft leisten soll, so muss ihm ein Strom von $\frac{2}{10} \cdot 736$ VA $= 147{,}2$ Watt zugeführt werden. Die Spannung — 20 V — ist durch die Konstruktion des Motors gegeben, die Stromstärke muss folglich $\frac{147{,}2}{20} = 7{,}4$ A betragen. Diesen Anforderungen genügt eine Batterie aus 10 bis 11 nacheinander geschaltenen Zellen (Spannung 20—22 V) von 30 ASt Kapazität, welche den Motor $\frac{30}{7{,}4} = 4$ Stunden in Betrieb halten kann.

In einem anderen Falle sei die Aufgabe gestellt, einen Platindraht von 0,3 qmm Querschnitt und 0,5 m Länge je nach Bedürfnis rotglühend oder weissglühend zu machen; zur Verfügung stehe eine Batterie von zwei nacheinander geschalteten Akkumulatoren von je 20 ASt Kapazität und ein Drahtwiderstand.

Ein Platindraht von 0,3 qmm Querschnitt leistet bei 1 m Länge und bei 0° einen Widerstand von 0,28 Ω; bei Rotglut steigt sein Widerstand auf 0,76 Ω, bei Weissglut auf 0,89 Ω; für eine Länge von 0,5 m ermässigen sich diese Widerstände auf die Hälfte, also 0,38 Ω bezw. 0,45 Ω. Um einen Platindraht von 0,3 qmm Querschnitt auf Rotglut zu erhitzen, ist eine Stromstärke von ungefähr 3,7 A, auf Weissglut eine von etwa 4,5 A nötig. Die elektromotorische Kraft unserer Batterie beträgt 4 V, der innere Widerstand, sowie der Leitungswiderstand in den Zuleitungsdrähten und dem Galvanometer belaufe sich auf 0,25 Ω. Unter diesen Umständen muss noch ein Widerstandsballast eingeschaltet werden, weil andernfalls infolge zu grosser Stromstärke der Draht abschmelzen würde; denn wir erhalten ungefähr $\frac{4}{0{,}45+0{,}25} = 5{,}7$ A.

Um die erforderliche Stromstärke 3,7 A bezw. 4,5 A zu gewinnen, muss die Summe der Widerstände

$$\left(\text{da Stromstärke} = \frac{\text{Summe der elektromotorischen Kräfte}}{\text{Summe der Widerstände}}, \text{ also Summe der Widerstände} = \frac{\text{Summe der elektromotorischen Kräfte}}{\text{Stromstärke}}\right)$$

$= \frac{4}{3,7} = 1,08\ \Omega$ bezw. $\frac{4}{4,5} = 0,89\ \Omega$ sein. Die ohnedies im Stromkreise vorhandenen Widerstände betragen $0,38 + 0,25 = 0,63\ \Omega$ bezw. $0,45 + 0,25 = 0,70\ \Omega$; es ist also ein Drahtwiderstand einzuschalten $1,08 - 0,63 = 0,45\ \Omega$ bezw. $0,89 - 0,70 = 0,19\ \Omega$. Dann erzeugt die Batterie die gewünschte Stromstärke, welche den Platindraht auf Rotglut $\left(\frac{4}{0,36 + 0,25 + 0,45} = 3,7\,\text{A}\right)$ oder Weissglut $\left(\frac{4}{0,45 + 0,25 + 0,19} = 4,5\,\text{A}\right)$ erhitzt. Die Batterie ist imstande, den Draht $\frac{20}{3,7} = 5,4$ Stunden lang auf Rotglut oder $\frac{20}{4,5} = 4,4$ Stunden lang auf Weissglut zu erhalten, ehe wieder eine Neuladung notwendig wird.

Während der Entladung nimmt den früheren Auseinandersetzungen zufolge die elektromotorische Kraft des Akkumulators ab, der innere Widerstand zu; beide Änderungen wirken in gleichem Sinne und bedingen eine Abnahme der Stromstärke. Streng genommen sind also auch die Akkumulatoren keine konstanten Elemente; doch übertreffen sie an Konstanz nicht bloss die Chromsäuretauchelemente, sondern auch die Bunsenschen Elemente, abgesehen davon, dass sie an Bequemlichkeit und Zuverlässigkeit weit überlegen sind. Eine feinere Regelung der Stromstärke während des Verlaufes der Entladung durch veränderliche Drahtwiderstände ist für viele Zwecke unnötig, namentlich wenn man vermeidet, die Akkumulatoren sofort nach der Ladung zu benützen, wo infolge der an den Platten noch haftenden Gase (Sauerstoff und Wasserstoff) und konzentrierteren Säure die elektromotorische Kraft 2,4 V beträgt. Nach einigen Stunden Ruhe verschwindet diese Überspannung von selbst; rasch kann man sie dadurch entfernen, dass man die Akkumulatoren 3—5 Minuten lang durch einen Drahtwiderstand von einigen Ω schliesst. In beiden Fällen besitzt dann jede Zelle die Normalspannung von etwa 2 V, welche lange Zeit fast unverändert erhalten bleibt und erst gegen Ende der Entladung

auf 1,8 V sinkt. Bei übermässiger Stromentnahme ist die Spannung von vornherein etwas geringer.

Die Zunahme des inneren Widerstandes, welche hauptsächlich von dem Verbrauche an Schwefelsäure während der Entladung herrührt, macht sich um so fühlbarer, je geringer der Flüssigkeitsvorrat in den Zellen ist. Akkumulatoren mit verhältnismässig grossen Gefässen liefern also konstantere Ströme, als solche mit kleinen. Übrigens wird dieser Unterschied nur bei sehr geringem Widerstande des äusseren Stromkreises merklich, da der innere Widerstand der Akkumulatoren unter allen Umständen nur klein ist und gewöhnlich kaum in Betracht kommt. In keinem Falle sollen jedoch weniger als 25 Ccm verdünnte Schwefelsäure auf je 1 A St Kapazität vorhanden sein.

Eine Zelle von 20 A St Fassungsvermögen habe z. B. eine Füllung von 500 Ccm Schwefelsäure vom spez. Gewichte 1,15; solche Schwefelsäure ist 20prozentig, in den 500 Ccm sind also $1{,}15 \cdot 500 \cdot 0{,}2\ g = 115\ g$ reine Schwefelsäure vorhanden. Für je 1 A St werden bei der Entladung 3,67 g Schwefelsäure, also für unsere Zelle $20 \cdot 3{,}67 = 73{,}4$ g verbraucht, der Rest, rund 42 g, bleibt in annähernd der nämlichen Wassermenge, wie ursprünglich, gelöst. Die Flüssigkeit besteht somit gegen Schluss der Entladung nur noch aus 8,5prozentiger Schwefelsäure, deren Leitfähigkeit kaum halb so gross ist, als die einer 20prozentigen Säure, der Widerstand hat sich somit während des Gebrauchs der Zelle mehr als verdoppelt. Enthielte das Gefäss nur 400 Ccm Lösung, entsprechend 92 g reiner Schwefelsäure, so wäre schliesslich die Füllung nur noch 4,8prozentig, der Widerstand würde auf mehr als das dreifache des anfänglichen steigen. Bei 300 Ccm Füllung würde der Gehalt an Schwefelsäure, 69,5 g, nicht einmal zur Durchführung des chemischen Prozesses bei der Entladung ausreichen.

Geladene Akkumulatoren entladen sich allmählich von selbst, wenn sie nicht gebraucht werden. Dieser Vorgang vollzieht sich aber sehr langsam und gut eingerichtete, rein gehaltene Akkumulatoren besitzen noch nach Monaten so erhebliche Reste von Ladung, dass man damit arbeiten kann. Eine Beantwortung verlangt noch die Frage, weshalb die verdünnte Schwefelsäure das schwammige Blei der negativen Platten, wenn der Akkumulator ruht, fast gar nicht angreift, während sie es rasch in schwefelsaures Blei verwandelt, sobald der Strom geschlossen ist.

Im Ruhezustande findet ein oberflächlicher Angriff unter Bildung von schwefelsaurem Blei statt:

$$Pb + \underbrace{2(H)^{+} + (SO_4)^{--}} = PbSO_4 + 2(H)^{+}.$$

Blei — Schwefelsäure, in Ionen gespalten. — Bleisulfat — Wasserstoffionen

Die Bildung von Bleisulfat aus Blei und (SO_4)-Ionen sowie die überschüssig werdenden (H)-Ionen erzeugen eine negative elektrische Ladung des Bleies und eine positive der Flüssigkeit, wodurch ein Weitergreifen dieser Umsetzung verhindert wird, solange eine Ausgleichung der Ladungen durch einen elektrischen Strom fehlt. Wird jedoch der Strom geschlossen, so wandern die Wasserstoffionen als Träger der positiven Elektrizität zu den Superoxydplatten, geben dort ihre Ladung ab, die zur Neutralisation der negativen Ladung des Bleischwammes dient und werden zu Wasser oxydiert. Durch den Strom werden also die Ladungen ausgeglichen und solange der Strom fliesst, dauert auch der stromliefernde Prozess, die Umwandlung von Blei in Bleisulfat und die Oxydation des verfügbar werdenden Wasserstoffs zu Wasser durch das Bleisuperoxyd; mit Unterbrechung des Stromes stellt sich sofort die den chemischen Prozess hemmende elektrische Ladung ein, der Bleischwamm ist geschützt.

Sehr einfach kann man sich davon überzeugen, dass nur die negative Ladung des Bleies und die positive der Flüssigkeit dem Bleischwamm Schutz gegen den Angriff der Schwefelsäure gewährt, wenn man eine negative Akkumulatorplatte unter der Flüssigkeit mit einem Platindraht berührt. Sogleich findet an dem Platindraht eine lebhafte Wasserstoffentwickelung statt und die nächste Umgebung der Berührungsstelle verwandelt sich in Bleisulfat; es fliesst nämlich jetzt ein elektrischer Strom von dem Bleischwamm durch die Schwefelsäure zum Platindrahte und von hier durch die Berührungsstelle zurück zum Blei; die Wasserstoffionen dienen als Träger der durch den Strom in Bewegung gesetzten Elektrizität, kommen am Platin zur Abscheidung und das Blei bleibt ohne schützende Ladung.

Der Schutz des Bleischwammes ist aber aus zwei Gründen unvollkommen. Einmal ist die Isolierung kaum jemals so vollständig, dass nicht ein langsamer Ausgleich der Ladungen vor

sich ginge; in dem Masse, wie dieser erfolgt, tritt auch die Wiederherstellung der Ladung durch den chemischen Prozess ein. Ferner löst sich fortwährend Luftsauerstoff in geringer Menge in der Flüssigkeit auf und derartige sauerstoffhaltige Schwefelsäure verwandelt Blei in Bleisulfat, ohne dass überschüssig werdende Wasserstoffionen eine elektrische Ladung erzeugen können:

$$Pb + H_2SO_4 + O = PbSO_4 + H_2O.$$

Beide Ursachen bewirken, dass die Akkumulatoren im Laufe von Monaten sich selbst entladen, indem vor allem an den negativen Platten der Bleischwamm in poröses schwefelsaures Blei übergeht, aber auch, nur in geringerem Grade, an den positiven Platten das Bleisuperoxyd in die nämliche Verbindung sich verwandelt.

Viertes Kapitel.

Die Behandlung der Akkumulatoren.

Als Füllung der Zellen dient reine verdünnte Schwefelsäure vom spezifischen Gewichte 1,15. Man erhält solche Säure, wenn man 1000 Raumteile destilliertes Wasser mit 136 Raumteilen chemisch reiner konzentrierter Schwefelsäure mischt; das Gemenge darf unter keinen Umständen eingefüllt werden, bevor es völlig erkaltet ist. Auf die Dichte der Säure kommt es nicht genau an; solche von spez. Gewichte 1,14 oder 1,16 schädigt den Apparat weder in seiner Dauerhaftigkeit noch in seiner Leistungsfähigkeit und für manche Typen wird konzentriertere Säure bis zu 1,24 spez. Gew. sogar vorgeschrieben; dagegen muss die Säure unbedingt rein sein. Nun ist allerdings die chemisch reine konzentrierte Schwefelsäure des Handels von den gewöhnlichen Verunreinigungen der rohen Säure frei, aber sie enthält mitunter Spuren von Kupfer-, Gold- und Platinverbindungen, welche vom Abdampfen in Platingefässen herrühren. Diese Beimengungen veranlassen eine Abscheidung der entsprechenden Metalle auf den negativen Platten

und die Folge davon ist die nämliche, wie die Berührung der Platten mit einem Platindrahte; es entwickelt sich an der Oberfläche der fremden Metalle Wasserstoff und das mit keiner schützenden Ladung bekleidete poröse Blei der nächsten Umgebung unterliegt dem Angriffe der Schwefelsäure.

Ist die Verunreinigung sehr geringfügig, so äussert sie sich nur dadurch, dass der Akkumulator fortwährend Wasserstoff entwickelt, seine Ladung schlecht hält und in aussergewöhnlich kurzer Zeit sich von selbst entladet; der Übelstand vermindert sich beim Gebrauch, da die Fremdmetalle von neu gebildetem Bleischwamm allmählich überdeckt und somit unschädlich gemacht werden. Ist die Verunreinigung dagegen einigermassen beträchtlich, was man schon daran erkennt, dass die negativen Platten statt silbergrau dunkelgrau oder schmutziggrau aussehen, so ist der Akkumulator unbrauchbar, da er überhaupt nicht richtig geladen werden kann, weil von vornherein eine massenhafte Wasserstoffentwickelung an den negativen Platten eintritt. Sichere Abhilfe ist nur zu schaffen durch Auswechselung der verdorbenen negativen Platten gegen frische.

Um diesen Übelständen auszuweichen, muss man entweder eine unzweifelhaft reine Schwefelsäure verwenden, wie sie von den meisten Geschäften, welche Akkumulatoren verkaufen, auf Wunsch geliefert wird, oder aber man muss die Schwefelsäure reinigen. Dies geschieht am besten dadurch, dass man nach dem Verdünnen in die erkaltete Säure einige Minuten lang Schwefelwasserstoffgas einleitet, tüchtig durchschüttelt und nach ein- bis zweitägigem Stehen von dem allenfalls ausgefällten Niederschlage abfiltriert. Zur Vertreibung des Schwefelwasserstoffs dampft man kurze Zeit in einer Porzellanschale ein, lässt erkalten und füllt destilliertes Wasser nach, bis der frühere Rauminhalt, also die ursprüngliche Verdünnung wieder erreicht ist. Übrigens braucht man mit der gänzlichen Vertreibung des Schwefelwasserstoffs nicht ängstlich zu sein, da noch vorhandene Reste davon beim Betriebe der Akkumulatoren binnen kurzer Zeit zerstört werden.

Von der Verwendung gewöhnlicher roher Schwefelsäure ist unter allen Umständen abzurathen, da eine solche auch durch Behandlung mit Schwefelwasserstoff nicht brauchbar wird wegen

ihres hierdurch nicht zu entfernenden Eisengehaltes. Die schädliche Wirkung des Eisens beruht auf seiner Fähigkeit, leicht aus dem zweiwerthigen in den dreiwerthigen Zustand und umgekehrt überzugehen. Das Ferrosulfat wird an den Superoxydplatten zu Ferrisulfat oxydirt und dieses an den Bleischwammplatten zu Ferrosulfat reduziert; beide Salze sind leicht löslich und gelangen durch Diffussion fortwährend von einer Platte zur andern, so dass das Spiel der abwechselnden Oxydation und Reduktion stetig vor sich geht. Hierdurch wird der Nutzeffekt des Akkumulators in einem mit dem Eisengehalte der Säure steigenden Masse herabgesetzt; die Zelle braucht zur Ladung mehr Strom als normal, gibt bei der Entladung weniger her und hält die Ladung schlecht. Vollkommen eisenfreie Schwefelsäure ist schwer erhältlich, jedenfalls muss aber der Eisengehalt so gering sein, dass durch Übersättigung einer Probe mit Ammoniak keine rostbraune Trübung infolge Abscheidung von Eisenoxydhydrat eintritt. Hält die in einer Zelle befindliche Säure dieser Probe nicht stand, so muss sie durch frische ersetzt werden.

Sind einmal die Zellen richtig gefüllt, so hat man nie wieder weitere Mühe damit, als dass man durch gelegentlichen Zusatz von destilliertem Wasser das verdunstete ersetzt, bis der Flüssigkeitsspiegel wieder die richtige Höhe hat.

Zu bemerken ist noch, dass Bleisuperoxyd und Bleischwamm einen etwas grösseren Raum einnehmen, als die entsprechende Menge porösen schwefelsauren Bleies; demnach dehnen sich die Platten bei der Ladung ein wenig aus und die Flüssigkeit steigt, bei der Entladung ziehen sie sich wieder zusammen und die Flüssigkeit sinkt.

Um die Zuleitungen gut im Stande zu erhalten und Nebenschlüsse zu vermeiden, müssen die Aussenwände der Gefässe stets trocken gehalten und allenfalls übergespritzte oder verschüttete Säure sogleich weggewischt werden. Wesentlich erhöht wird die Sicherheit gegen Erdschluss, wenn der verfügbare Raum es gestattet, jede einzelne Zelle auf 4 Porzellanisolatoren oder wenigstens auf Knöpfe von Porzellan oder Glas zu stellen.

Durch Tränken der Holzbehälter, worin die Akkumulatoren stehen, mit flüssigem Vaselin (Paraffinöl) verhindert man, dass

LIBRARY OF THE UNIVERSITY OF CALIFORNIA

sich in solchen Fällen das Holz rasch mit der Säure vollsaugt und leitend wird.

Bleidrähte sowie sonstige Leitungsteile in unmittelbarer Nähe der Zellen firnisst man, um das allmähliche Aufsteigen der Schwefelsäure zu verhindern, mit Asphaltlack oder — besser, aber minder schön — mit einer Lösung von Wachs in warmem Xylol. Ganz vorzüglich eignet sich auch für diesen Zweck die Kautschuklösung, welche man in Tuben eingefüllt in jeder Fahrradhandlung erhält, namentlich wenn man die eingetrocknete Kautschukschicht noch überfirnisst.

Man hat auch Akkumulatoren gebaut, in welchen die verdünnte Schwefelsäure durch bestimmte Zusätze in eine gelatinöse Masse verwandelt ist. Dadurch wird freilich dem Verschütten von Säure vorgebeugt und der Apparat lässt sich bequemer transportieren, aber bei gleichem Gewichte besitzt er auch eine geringere Kapazität sowie einen grösseren inneren Widerstand, also aus beiden Gründen eine geringere Leistungsfähigkeit, und nach den bisherigen Erfahrungen überwiegen die Nachteile dieser Neuerung ihre Vorteile.

Ladung der Akkumulatoren. Wenn es sich um die Ladung kleiner, leicht transportabler Akkumulatorbatterien handelt, so erweist es sich in vielen Fällen als zweckmässig, diese Arbeit von sachkundiger Hand ausführen zu lassen, wozu in fast allen grösseren Orten sich zu billigem Preise Gelegenheit findet. Für den Fall, dass man die Ladung selbst besorgen will oder muss, finden sich im Folgenden die nötigen Anhaltspunkte. Aus dem früher Gesagten geht hervor, dass sich zum Laden eine Stromstärke empfiehlt, bei welcher die Ladung 5—10 Stunden dauert; also beispielsweise für eine Batterie von 8 Zellen zu je 8 A St ein Strom von 6—11 A, wenn alle Zellen nebeneinander, von 0,8—1,6 A, wenn alle Zellen nacheinander geschaltet sind. Es ist also unbedingt erforderlich, die Stärke des Ladestromes durch ein Galvanometer zu messen. Derartige Messinstrumente mit bequemer Einrichtung und empirischer Graduierung in A oder $^1/_{10}$ A, $^1/_{1000}$ A (Milliampère) findet man jetzt überall im Handel und jedes grössere Lehrbuch der Physik giebt über ihre Anwendung Auskunft. Die meisten Akkumulatoren ertragen eine wesentliche Abkürzung der Lade-

zeit in der Art, dass man nicht mit konstanter, sondern mit abnehmender Stromstärke lädt, wobei für die erste Hälfte der Ladung der Strom das Doppelte der normalen Ladestromstärke erreichen darf. Das Ende der Ladung kennzeichnet sich durch Gasentwickelung an den Platten; sind die Gefässe der Akkumulatoren undurchsichtig, so dient als Merkmal das singende Geräusch, welches die an der Flüssigkeitsoberfläche platzenden Gasblasen verursachen. Bei Akkumulatoren, die verkittet und nur mit einer zugestöpselten Öffnung versehen sind, muss selbstverständlich der Stöpsel während des Ladens gelüftet werden. Zweckmässiger durchbohrt man die Stöpsel und steckt in die Durchbohrungen kurze Glasröhrchen, unten mit weiter, oben mit enger Öffnung; dadurch wird das Verspritzen von Säure verhindert, den Gasen aber steht der Ausweg frei. Für ungedeckte Akkumulatoren ist zu beachten, dass die heftig aufsteigenden Gasbläschen einen mehrere Centimeter über die Flüssigkeitsoberfläche sich erhebenden feinen Sprühregen von Säuretröpfchen erzeugen, welcher alle Kupferdrahtleitungen und Klemmschrauben, die in sein Bereich kommen, rasch zerstört. Man vermeidet diesen Übelstand fast ganz, wenn man auf die verdünnte Schwefelsäure eine Schicht von Vaselinöl giesst, durch welche die Blasen nur langsam und ohne Säure mitzureissen entweichen. Dieses Mittel hat aber die Unannehmlichkeit, dass im Laufe der Zeit das Vaselinöl sich verdickt und die Zellen verunreinigt. Besser bedeckt man die Zellen mit lose aufliegenden Glasplatten, wodurch man sie zugleich vor hineinfallendem Staube schützt und die Verdunstung des Wassers aus der verdünnten Säure hemmt. Mit dem Eintritt kräftiger Gasentwickelung unterbricht man den Ladestrom; doch ist ein Überladen für die Akkumulatoren unschädlich, wenngleich überflüssig, und vorteilhaft lediglich dann, wenn sie vorher übermässig beansprucht oder lange nicht mehr gebraucht worden sind.

Nur als Notbehelf wird man Akkumulatoren mit galvanischen Elementen laden; es kommen für diesen Zweck nur Bunsen'sche Elemente und die sogenannten Postelemente in Betracht. Im allgemeinen sind die Elemente nacheinander, die Akkumulatorzellen nebeneinander zu schalten; eine einzelne Zelle erfordert mindestens 2 auf Spannung verbundene Bunsen-Elemente aus

früher erörterten Gründen. Der positive Pol (Kohlenpol) ist natürlich mit dem positiven, der negative Pol (Zinkpol) mit dem negativen Pol des Akkumulators zu verbinden.

Um beispielsweise zwei Akkumulatorzellen von je 20 A St Fassungsvermögen mit drei grossen Bunsen-Elementen (je 1,8 V, 0,3 Ω) zu laden, braucht man etwa 14 Stunden Zeit. Denn den beiden parallel geschaltenen Zellen muss man $2 \cdot 20 = 40$ A St zuführen; der Ladestrom beträgt, wenn man den geringen inneren Widerstand der Zellen samt dem Widerstand der Zuleitungsdrähte und des Ampèremeters mit 0,2 Ω in Rechnung bringt $\frac{(3 \cdot 1{,}8 - 2{,}2)}{(3 \cdot 0{,}3 + 0{,}2)} = \frac{3{,}2 \text{ V}}{1{,}1 \text{ Ω}}$ $= 2{,}9$ A, die Dauer der Ladung folglich $\frac{40}{2{,}9} = 13{,}8$ Stunden. Bei nacheinander geschalteten Zellen, wobei zwar nur 20 A St zuzuführen wären, aber bei einer mittleren elektromotorischen Gegenkraft von 4,4 V, würde die Ladung gegen 25 Stunden Zeit beanspruchen (Stärke des Ladestromes $\frac{(3 \cdot 1{,}8) - 4{,}4}{(3 \cdot 0{,}3) + 0{,}3} = \frac{1 \text{ V}}{1{,}2 \text{ Ω}} = 0{,}83$ A; Dauer $\frac{20}{0{,}83} = 24{,}1$ Stunde.)

Viel weniger ausgiebig, aber reinlicher und dauerhafter als Bunsen-Elemente sind die sogenannteo Postelemente, eine bei der deutschen Reichspost eingeführte Form des Meidinger-Elementes. Die mittlere elektromotorische Kraft eines solchen Postelementes beträgt 0,98 V, der mittlere innere Widerstand 5 Ω, die geeignete mittlere Stromstärke 0,12 A. Man muss mindestens ein Dutzend Elemente verwenden; will man damit die vorhin genannte zweizellige Akkumulatorenbatterie laden, so kann man dies in verschiedener Weise ausführen.

1. Die Elemente, sowie die 2 Akkumulatoren hintereinander geschaltet. Stärke des Ladestromes $J = \frac{12 \,.\, 0{,}98 - 2 \cdot 2{,}2}{12 \,.\, 5 + 0{,}2} = \frac{7{,}36}{60.2} = 0{,}12$ A.

   Dauer der Ladung $\frac{20}{0{,}12} = 167$ Stunden.

2. Die Elemente als 6 Doppelelemente, die Akkumulatoren nebeneinander. Stärke des Ladestromes $J = \frac{6 \,.\, 0{,}98 - 2{,}2}{6 \,.\, \frac{5}{2} + 0{,}2} = \frac{3{,}68}{15{,}2} = 0{,}24$ A.

   Dauer der Ladung $\frac{2 \,.\, 20}{0{,}24} = 167$ Stunden.

3. 4 dreifache Elemente, die Akkumulatoren nebeneinander. Stärke des Ladestromes $J = \frac{4 \,.\, 0{,}98 - 2{,}2}{4 \,.\, \frac{5}{3} + 0{,}2} = \frac{1{,}72}{6{,}9} = 0{,}248$ A. Dauer der Ladung $\frac{2 \,.\, 20}{0{,}248} = 161$ Stunden.

Die anderen noch möglichen Schaltungen wirken schlechter, zum Beispiel die Elemente hintereinander, die Akkumulatoren nebeneinander; $J = \frac{12 \cdot 0{,}98 - 2{,}2}{12 \,.\, 5 + 0{,}2} = \frac{9{,}56}{60{,}2} = 0{,}16$ A. Dauer der Ladung $\frac{2 \cdot 20}{0{,}16} = 250$ Stunden. Aus dem Beispiel erhellt, dass nur bei geringem Stromverbrauche das Verfahren verwertbar ist. Manche grosse Reichstelegraphenämter betreiben in neuerer Zeit die Telegraphenlinien mit Akkumulatorbatterien aus Masseplatten und laden die Zellen mittels Postelementen, was erheblich vorteilhafter ist, als der Betrieb unmittelbar mit Elementen. Dieser scheinbar widersinnige Sachverhalt erklärt sich aus der Eigentümlichkeit der Elemente des Meidinger-Typus, dann am dauerhaftesten und leistungsfähigsten zu bleiben, wenn sie durch konstante Stromlieferung voll beansprucht werden, wie dies beim Laden von Akkumulatoren der Fall ist; die in den Akkumulatoren aufgespeicherte Energie kann ohne Verschlechterung des Nutzeffektes in grösseren und kleineren Anteilen mit beliebigen Unterbrechungen entnommen werden.

Sehr günstig ist es, wenn man Gelegenheit hat, eine kleine Akkumulatorbatterie von einer grossen aus zu laden. Man kann dabei nach Belieben die Zellen nebeneinander oder nacheinander verbinden und hat nur die eine Mühe, durch Einschaltung in einen geeigneten Nebenschluss oder durch Vorschaltung von Drahtwiderständen dafür zu sorgen, dass der Ladestrom die geeignete Stärke besitzt.

Bleiben wir bei dem obigen Beispiel, so lassen sich die beiden Zellen von 20 A St bei Nebeneinanderschaltung mit einem Strome von 4 bis 8 A oder bei Nacheinanderschaltung mit einem von 2 bis 4 A in 5 bis 10 Stunden laden.

Für Laboratorien und Unterrichtsanstalten, denen weder ein elektrischer Strom aus einer Centralstation noch eine Dynamomaschine zur Verfügung steht, dürfte sich als zweckmässigster Apparat zur Erzeugung des Ladestromes für eine kleine Akkumulatorbatterie eine Gülcher'sche Thermosäule von 66 Elementen empfehlen. Eine solche Thermosäule hat eine elektromotorische Kraft von etwa 4 V, einen inneren Widerstand von etwa 0,7 Ω, liefert selbst bei mässigen Schwankungen des Gasdruckes einen fast vollkommen konstanten Strom von beliebiger Dauer, ist durch Anzünden der Gasflammen jederzeit mühelos in Betrieb zu setzen, bedarf bei wenig schwankendem Gasdruck keines Gasdruckregulators und keiner Wartung und verbraucht in der Stunde 170—180 Liter, also für etwa 3 Pfennig Gas. Schaltet man die Akkumulatorzellen nebeneinander und verbindet den positiven Pol der Thermosäule mit dem positiven, den negativen mit dem negativen Pol einer be-

liebigen Akkumulatorbatterie, nachdem zuvor die Thermosäule 5—10 Minuten angeheizt ist, so hält man einen Ladestrom von 1,8—2,2 A. Die auf Seite 28 angeführte Batterie von 8 Zellen zu 8 A St wird folglich in $\frac{64}{2} = 32$ Stunden geladen. Berücksichtigt man aber den Umstand, dass man beim Arbeiten mit dem Entladungsstrome die stets bereite Thermosäule und die Akkumulatoren im nämlichen Stromkreise vereint wirken lassen kann, wodurch in den meisten Fällen die Akkumulatoren nur auf einen kleinen Bruchteil ihrer Leistungsfähigkeit beansprucht zu werden brauchen, so reichen fast immer die ohnedies eintretenden Arbeitspausen aus, um jeweils die Akkumulatoren wieder vollkommen zu laden, zumal man ohne jede Gefahr für die Apparate die Thermosäule über Nacht brennen und das Ladegeschäft besorgen lassen kann. Am sichersten erhält sich die Thermosäule auf die Dauer in gutem Zustande, wenn man sie lange Zeiträume (Wochen und Monate) hindurch ununterbrochen im Betrieb lässt und gleichzeitig durch einen eingeschalteten Gasdruckregulator für so schwache Erhitzung sorgt, dass ihre elektromotorische Kraft nur etwa 3,5 V erreicht; sie liefert hierbei einen Ladestrom von 1,5 bis 1,6 A.

Man verfüge z. B. über eine Gülcher'sche Thermosäule, sowie über die (S. 24) erwähnten beiden Akkumulatorbatterien und brauche einen Strom von 2 A bei 8 V 3 Stunden lang. Entweder kann man diesen erhalten von vier nacheinander geschalteten Akkumulatorzellen, welche hierbei $4 \cdot 2 \cdot 3 = 24$ A St abgeben; zu ihrer völligen Wiederladung durch die Thermosäule sind dann $\frac{24}{2} = 12$ Stunden rund erforderlich.

Oder aber, man verbindet in beiden Batterien die Zellen nebeneinander und schaltet die Batterien selbst unter sich und mit der Thermosäule zusammen auf Spannung; man hat auch auf diese Art 8 V zur Verfügung; die gesamten Akkumulatorzellen geben ab $2 \cdot 2 \cdot 3 = 12$ A St und können in $\frac{12}{2} = 6$ Stunden wieder vollständig geladen werden.

Wo eine Hochdruckwasserleitung zu Gebote steht, hat es sich schon mehrfach bewährt, eine kleine Dynamo durch eine auf derselben Welle sitzende Turbine anzutreiben und so den Ladestrom zu erzeugen. Selbstverständlich muss die Konstruktion der Dynamo es zulassen, dass die Klemmenspannung während der Ladung um 40 % ansteigt; denn um diesen Wert

wächst beim Laden die im Mittel 2,2 V betragende elektromotorische Gegenkraft der einzelnen Zelle — 1,8 V zu Beginn, 2,4 bis 2,6 V zu Ende der Ladung.

Gleichstrommaschinen dienen allgemein zur Ladung grosser Akkumulatorbatterien, kommen aber auch mitunter für kleine Batterien, wie sie hier in Rede stehen, in Betracht. Zur Lieferung des Ladestromes eignet sich eine Hauptschlussdynamo wenig, eine Nebenschlussdynamo dagegen sehr gut, wie sich mit Hilfe der nachstehenden schematischen Zeichnungen leicht nachweisen lässt.

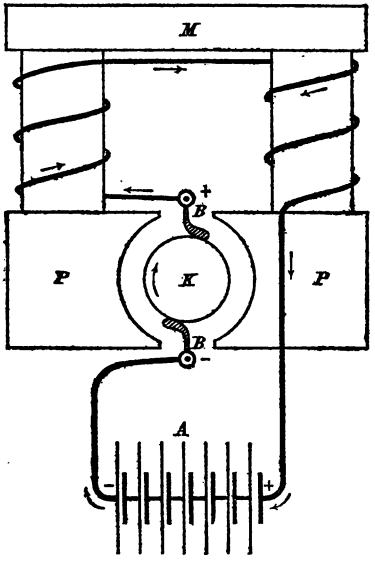


Fig. 2.

In beiden Figuren bedeutet:

M den Elektromagneten mit seinen Polschuhen *PP*.

BB die Bürsten, welche den Ankerstrom von dem Kollektor *K* abnehmen und ihn dem Stromkreise zuführen, wo er in der Richtung der Pfeile fliesst.

A die Akkumulatorbatterie.

Bei der Hauptschlussdynamo (Fig. 2) umkreist der Strom von der positiven Bürste aus die Magnetschenkel, fliesst weiterhin durch die Akkumulatoren und zwar am positiven Pol ein, am negativen aus und kehrt von da zur negativen Bürste zurück. Falls sich aus irgend einem Grunde auch nur ganz vorübergehend die Umdrehungsgeschwindigkeit der Maschine soweit verringert, dass ihre elektromotorische Kraft unter die der zu ladenden Batterie sinkt, so kehrt der Strom seine Richtung um; statt in die Akkumulatoren fliesst der positive Strom nun aus ihnen in die Maschine. Dadurch wird der Elektromagnet ummagnetisiert und wenn auch sogleich die Dynamo ihre normale Geschwindigkeit wieder annimmt, so bleibt doch der Magnet ummagnetisiert, der Maschinenstrom behält folglich die verkehrte Richtung bei und entladet

die Batterie statt sie zu laden; überdies kann dadurch Dynamo und Batterie schweren Schaden nehmen.

Ein solches Vorkommnis ist bei der Nebenschlussdynamo (Fig. 3) ausgeschlossen, da hier der Strom, welcher den Elektromagneten umkreist, immer die nämliche Richtung beibehält, einerlei, ob der Maschinenstrom oder der Batteriestrom überwiegt. An der positiven Bürste verzweigt sich der Maschinenstrom; ein Teil umfliesst die Magnetschenkel und kehrt zur negativen Bürste zurück; der andere Teil geht zur Batterie, tritt am positiven Pol ein, am negativen aus und kehrt von da gleichfalls zur negativen Bürste zurück. Tritt eine vorübergehende Störung in der Maschine ein, so kann zwar währenddessen die Batterie Strom abgeben statt zu empfangen; sobald aber das Hindernis beseitigt ist, nimmt die Ladung wieder ihren Fortgang, da der Elektromagnet nicht ummagnetisiert worden ist und folglich der Maschinenstrom seine ursprüngliche Richtung beibehalten hat. Um mit einer Nebenschlussdynamo Akkumulatoren zu laden, lässt man erst die Maschine bei offenem Stromkreise anlaufen, bis sie die gewünschte Spannung am Voltmeter zeigt, und schaltet dann die Zellen ein. Infolge der steigenden Gegenspannung nimmt die Stromstärke anfangs rasch ab, erhält sich dann längere Zeit fast unverändert, um schliesslich bei beginnender Gasentwickelung wieder zu sinken. Nach beendigter Ladung schaltet man zuerst die Akkumulatoren aus und stellt dann die Maschine still.

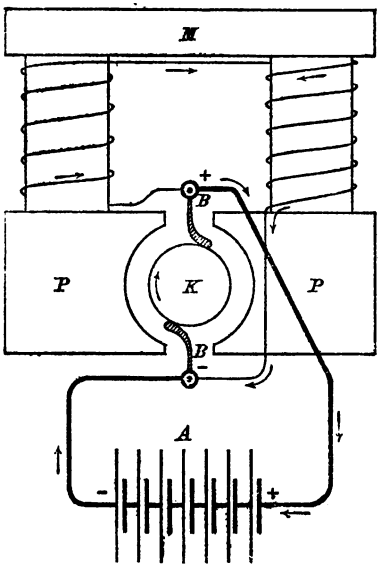


Fig. 3.

Beim Laden einer Akkumulatorbatterie von Leitungen aus, die von einer Dynamo mit Strom versorgt werden, muss man vor allem die richtigen Pole suchen, wenn dies nicht unzweifel-

haft feststeht. Man kann für diesen Zweck sich einer der verschiedenen Sorten von Polreagenzpapier bedienen, welche man im Handel findet; auch ein Stück mit Jodkaliumlösung befeuchtetes Filtrierpapier lässt sich als solches gebrauchen; drückt man die beiden Drahtenden so, dass sie sich nicht berühren, auf das Papier, dann entsteht in der Umgebung des positiven Poles ein brauner Fleck von ausgeschiedenem Jod. Dieses Drahtende ist also mit dem positiven Pol der Batterie, das andere mit dem negativen zu verbinden. Durch geeignete Stromverzweigung oder durch vorgeschalteten Drahtwiderstand muss man den Ladestrom auf die zweckmässige Stärke abschwächen.

Wo eine Gleichstromanlage für elektrisches Licht vorhanden ist, kann man von dieser aus die Ladung bewerkstelligen. Da die Betriebsspannung solcher Lichtleitungen gewöhnlich 65 V oder 110 V beträgt, so empfiehlt es sich, eine grössere Anzahl Zellen hintereinander geschaltet zu haben, um möglichst wenig elektrische Energie durch einen grossen Vorschaltswiderstand vernichten zu müssen. Man wählt also Zellen von kleiner Kapazität, denen man doch bei der Entladung stärkere Ströme entnehmen kann, wenn man sie in grösserer Anzahl parallel schaltet.

Die Lichtleitung habe 110 V Spannung; die Batterie bestehe aus 16 Zellen von 5 A St Kapazität und 5stündiger Ladungszeit; der Widerstand in den Leitungen und in den hintereinander geschalteten Zellen belaufe sich im ganzen auf 1,6 Ω; zu berechnen ist der für die Erzielung eines Ladestromes von 1 A erforderliche Vorschaltwiderstand. Nach dem Ohm'schen Gesetze $J = \frac{E}{W}$ ist die Summe der Widerstände $W = \frac{\text{Summe der elektromotorischen Kräfte } E}{\text{Stromstärke } J} = \frac{110 - 16 \cdot 2{,}2}{1} = 74{,}8\ \Omega$.

W = Vorschaltwiderstand $- 1{,}6$, mithin der Vorschaltwiderstand $= 73{,}2\ \Omega$; man hat dann $J = \frac{110 - 16 \cdot 2{,}2}{73{,}2 + 1{,}6} = \frac{74{,}8}{74{,}8} = 1$. Die Batterie ist in 5 Stunden geladen und gestattet bei Parallelschaltung aller Zellen und 4stündiger Entladung eine Maximalstromentnahme von $16 \cdot 1{,}2 = 19{,}2$ A.

Glühlampen sind besonders bequem als Vorschaltwiderstände, namentlich wenn man von einer Lichtleitung aus nur wenige Zellen zu laden hat und deshalb sehr hohe Widerstände braucht.

Es seien 2 Zellen von 20 A St Kapazität aus einer Leitung von 110 V Betriebsspannung zu laden. Man besitze einen Vorschaltwiderstand von

folgender Einrichtung: Ein Zuleitungsdraht teilt sich in 6 Zweige, in deren jedem eine 16kerzige Glühlampe liegt, und vereinigt sich dann wieder zu einer einfachen Leitung. Da eine 16kerzige Glühlampe für 110 V 0,5 A braucht, so fliessen durch den Widerstand, wenn alle Glühlampen eingesetzt sind, $6 \times 0{,}5 = 3$ A, dagegen nur $5 \times 0{,}5 = 2{,}5$ A, wenn eine Lampe aus ihrer Fassung herausgeschraubt ist, $4 \times 0{,}5 = 2{,}0$ A, wenn 2 Lampen ausgeschaltet sind u. s. w. Behufs Ladung verbindet man die beiden Zellen nacheinander geschaltet mit dem Vorschaltswiderstand und den Polen der Lichtleitung. Nimmt man 2 Glühlampen heraus, so hat man einen Ladestrom von 2 A (die 4 V Gegenspannung der Akkumulatoren können für die Rechnung vernachlässigt werden), welcher binnen 10 bis 11 Stunden die Ladung vollzieht. Oder man kann erst 6 Stunden lang 3 A = 18 ASt, dann 1 St. 2 A = 2 ASt zuführen und schliesslich mit 1 A die Ladung vollenden.

Dieses bequeme und sichere Verfahren hat nur den einen Nachteil, dass es unwirtschaftlich ist; denn man benützt hochgespannten Strom, wo niedergespannter genügt, was einer Energieverschwendung gleichkommt; so wendet man in obigem Beispiel, wo mit Strom von 110 V statt mit solchem von 5 bis 6 V geladen wird, rund 20mal so viel elektrische Energie auf, als eigentlich erfordert wird. Allein in vielen Fällen kommt eine derartige Energieverschwendung anderen Rücksichten gegenüber gar nicht in Betracht.

Grössere Elektrizitätsmengen von niedriger Spannung kann man aus einer Lichtleitung nur durch einen Gleichstromumformer vorteilhaft beziehen. Ein solcher besteht aus einem von der Hochspannungsleitung gespeisten Gleichstromelektromotor, der mit einer Niederspannungsdynamo gekuppelt ist. Ersetzt man in dieser Zusammenstellung den Gleichstrommotor durch einen Wechselstrommotor, so hat man einen Wechselstromgleichstromumformer, der gestattet, die Ladung einer Akkumulatorenbatterie von einer Wechselstromleitung aus zu bewerkstelligen. Derartige Apparate erfordern aber zu ihrem Betriebe eine gewisse Sachkenntnis, sind teuer in der Anschaffung und gehen bei kleinem Massstabe auch nicht über einen Nutzeffekt von 50 % hinaus, so dass sich für geringen Strombedarf ihre Benutzung nur ausnahmsweise empfiehlt.

Es schadet den Akkumulatoren nichts, wenn sie bei Gelegenheit wieder geladen werden, ohne vorher ausgebraucht worden zu sein; der Teil von Ladung, welchen sie noch be-

sitzen, geht hierbei nicht verloren, sondern die Neuladung ist entsprechend rascher zu Ende.

Akkumulatoren sollen jeweils nach Ablauf von 3 bis 4 Monaten frisch geladen werden, auch wenn sie in der Zwischenzeit nicht gebraucht worden sind; andernfalls erleiden sie Schaden durch Erhöhung ihres inneren Widerstandes und durch Abnahme ihrer Kapazität. Beides ist bedingt durch physikalische Veränderungen des schwefelsauren Bleies, für welche den Chemikern viele Analogien bei anderen schwerlöslichen Substanzen bekannt sind. Die meisten schwerlöslichen Niederschläge sind in frisch bereitetem Zustande sehr fein verteilt, nicht krystallin, und der Einwirkung von Reagentien leicht zugänglich; im Laufe der Zeit verwandeln sie sich unter der Flüssigkeit, worin sie entstanden sind, in gröbere, deutlich krystalline, schwer angreifbare Pulver. In dieser Weise verhält sich auch das schwefelsaure Blei auf den Akkumulatorplatten; aus dem ursprünglich fein verteilten, strukturlosen und leicht angreifbaren wird ein gröberer, krystalliner, widerstandsfähiger Körper, der durch den Ladestrom nicht sogleich zu Blei reduziert und zu Bleisuperoxyd oxydiert werden kann. Daher rührt die Abnahme der Kapazität, welche erst nach wiederholtem Entladen und Wiederladen durch allmähliche Aufarbeitung des krystallin gewordenen schwefelsauren Bleies annähernd wieder die frühere Höhe erreicht. Ferner backen schwerlösliche, krystallin gewordene Niederschläge sehr häufig unter der Flüssigkeit zusammen, vor allem in den obersten Schichten. Dies wird dadurch verursacht, dass die Löslichkeit mit den Temperaturschwankungen sich fortwährend, wenn auch noch so wenig ändert. Nimmt infolge von Temperaturerhöhung die Löslichkeit zu, so lösen sich vorwiegend die kleinsten Partikel und die hervorstehenden Spitzen; sinkt die Temperatur dann wieder, so wachsen hauptsächlich die schon vorhandenen Krystalle, und schliessen sich fester ineinander; wiederholt sich das Spiel genügend oft, so entsteht schliesslich eine dicht zusammenhängende, für Flüssigkeiten fast undurchdringliche Kruste. Das in der verdünnten Schwefelsäure nicht unlösliche, sondern nur sehr schwerlösliche schwefelsaure Blei besitzt dieses Verhalten und daher rührt es, dass der innere Widerstand eines lange Zeit nicht in Gebrauch ge-

wesenen Akkumulators ungewöhnlich gross wird, weil eben die gut leitende verdünnte Schwefelsäure an den meisten Stellen durch eine undurchlässige Schicht von dem gleichfalls gut leitenden porösen Inneren der Platte getrennt ist. Bei längerem Gebrauche verschwindet dieser Übelstand wieder durch allmähliche Umwandlung der Kruste in poröse, wirksame Masse oder durch Abfallen derselben.

Akkumulatoren mit spärlicher Flüssigkeitsfüllung machen nach langem Stehen oft Schwierigkeiten beim Laden durch grossen inneren Widerstand; dies rührt daher, dass sie mit nahezu reinem Wasser gefüllt sind, weil die Schwefelsäure zur Bildung von Bleisulfat verbraucht ist. Zusatz einiger Tropfen verdünnter Schwefelsäure in jede Zelle gestattet dem Ladestrom sogleich einigermassen den Durchgang und damit ist dem Übel abgeholfen, da durch den Ladevorgang selbst bald reichlich freie Schwefelsäure und somit normale Leitfähigkeit erzeugt wird.

Wie schon erwähnt, nimmt der Rauminhalt der Platten beim Laden etwas zu, beim Entladen ab; es kommt infolgedessen, namentlich bei übermässig starker Beanspruchung vor, dass die Platten sich verbiegen und in Gefahr kommen, sich gegenseitig zu berühren. Man verhindert dies nötigenfalls durch dazwischen geschobene Glasstäbe.

Wo es angeht, empfiehlt es sich, eine Akkumulatorenbatterie entweder auf Spannung geschaltet zu laden, oder jede Zelle für sich, eine nach der anderen. Denn bei der Ladung einer Batterie mit nebeneinander geschalteten Zellen herrscht nur dann in jeder Einzelzelle die gleiche Stromstärke, wenn alle Zellen den gleichen Widerstand und die gleiche elektromotorische Gegenkraft besitzen, eine Bedingung, die niemals genau und sehr oft auch nicht annähernd erfüllt ist. Zellen mit höherem Widerstande erhalten entsprechend weniger Strom, werden also nicht gleichzeitig mit den anderen vollgeladen und sind, wenn dieser Sachverhalt unbemerkt bleibt, raschem Verderben ausgesetzt, da sie bei nachheriger Benutzung der Batterie vorzeitig entladen sind, und dieser Übelstand bei jeder Ladung und Entladung sich verstärkt.

Bezüglich der Entladung der Akkumulatoren wurde bereits auseinandergesetzt, dass die günstigste Stromstärke hier-

für in A etwa $\frac{1}{4}$ bis $\frac{1}{8}$ der Kapazität in A St beträgt, dass aber ohne dauernden Nachteil, nur mit verringertem Nutzeffekte, auch noch stärkere Ströme vorübergehend entnommen werden können. Grundsätzlich soll man nicht mit Akkumulatoren arbeiten, ohne irgend ein Galvanometer in den Stromkreis einzuschalten, wenn anders man die Batterie und die vom Batteriestrom betriebenen Apparate vor Schaden behüten will.

Selbstverständlich ist es zweckmässig, die einzelnen Zellen einer Batterie gleichmässig zu beanspruchen, damit alle gleichzeitig entladen werden.

Falls man z. B. als Stromquelle die (S. 24) besprochene Doppelbatterie verwendet und einen Strom von 2 V Spannung braucht, so wird man die Schaltung 1 wählen, auch wenn man nur mit ganz schwachem Strome arbeitet, und nicht einer einzelnen Zelle den Strom entnehmen, was ja an und für sich einfacher erscheint.

Unter allen Umständen muss man sich davor hüten, dass die Schliessungsdrähte einer Akkumulatorbatterie in unmittelbare leitende Berührung kommen; denn bei Eintritt eines solchen Kurzschlusses entladen sich die Zellen so rasch und heftig, dass die Platten sich werfen, die aktive Masse abbröckelt und die Batterie dauernd beschädigt oder ganz unbrauchbar wird.

Hat man bei Benutzung der Akkumulatoren den Strom gemessen und kennt die Schaltungsweise der Zellen und die Zeitdauer, so kann man sich stets annähernd ausrechnen, ob eine Neuladung der Batterie notwendig ist oder nicht.

Angenommen, man habe aus der Doppelbatterie (S. 24) mit der Schaltung 1 einen Strom von 2 A 4 Stunden lang bezogen, also $2 . 4 = 8$ A St verbraucht; da alle Zellen parallel geschaltet sind, somit wie ein grosses Element wirken, entfällt auf jedes $^1/_8$ der Stromlieferung, also 1 A St; eine Neuladung ist nicht notwendig, denn jede Zelle enthält noch 7 A St.

Hat man dagegen mit der Schaltung 3 gleichfalls bei einer Stromstärke von 2 A 4 Stunden gearbeitet, so verteilt sich die Lieferung von 8 A St auf je 2 Elemente, da die Schaltung einer Batterie von 4 Doppelelementen entspricht; die einzelne Zelle hat 4 A St geleistet und ist halb entladen.

Ist schliesslich wiederum mit 2 A Stromstärke und 4 Stunden Dauer die Schaltung 4 in Anwendung gekommen, so hat jede einzelne Zelle, da ja alle auf Spannung verbunden sind, $2 . 4 = 8$ A St abgegeben, die ganze Batterie ist ausgebraucht und muss frisch geladen werden.

Oft fehlen jedoch die Daten zur Berechnung, wie viel Ladung eine Batterie noch enthält und es ist von Wert, Mittel zur Beantwortung dieser Frage zu kennen; denn keineswegs geht es immer an, einfach die Akkumulatoren so lange zu benützen, bis eben die Abnahme ihrer Leistungen anzeigt, dass sie frisch geladen werden müssen.

Für offene Akkumulatoren ist die aräometrische Bestimmung des spezifischen Gewichtes der verdünnten Schwefelsäure ein gutes Kennzeichen des Ladungszustandes. Denn bekanntlich wird bei der Entladung freie Schwefelsäure gebunden; wenn man also einmal bei einer bestimmten Zelle festgestellt hat, welche Änderungen des spez. Gewichtes der Füllung einem bestimmten Stande der Entladung entsprechen, so genügt zur Beurteilung jeweils eine rasch auszuführende spezifische Gewichtsbestimmung der Säure. Nun sind aber gerade die kleineren Akkumulatortypen meistens mehr oder weniger fest verschlossen oder man kann wegen Platzmangels kein Aräometer in der Füllung schwimmen lassen und bleibt darum auf andere Wege angewiesen.

Besitzt man einen Spannungsmesser (Voltmeter), so gibt die Bestimmung der elektromotorischen Kraft einer Zelle Auskunft über ihren Ladungszustand; sobald die Spannung während mässiger Stromentnahme auf 1,8 V gesunken ist, muss von neuem geladen werden.

Den nämlichen Zweck kann man jedoch auch mittels eines Galvanometers (Ampèremeters) erreichen; man braucht nur durch Einschaltung eines geeigneten Widerstandes, dessen Grösse nicht näher bekannt zu sein braucht, sobald man nur immer den nämlichen verwendet, die Stromstärke auf eine schickliche Grösse einzustellen und zu messen. Hat man einmal diese Messungen bei einer bestimmten Zelle oder Batterie durchgeführt und die Ergebnisse gebucht, so gibt die Wiederholung einer Messung jeweils die gewünschte Auskunft. Denn mit dem Fortschritte der Entladung sinkt die Spannung und steigt der innere Widerstand, die unter den nämlichen sonstigen Bedingungen gelieferte Stromstärke nimmt also aus beiden Gründen ab.

So beträgt beispielsweise bei einer bestimmten Zelle von 8 A St Kapazität die Spannung während der Entladung längere Zeit hindurch 2 V bei

einem inneren Widerstande von 0,04 Ω, sinkt dann langsam auf 1,9 V unter Zunahme des Widerstandes auf 0,05 Ω, später rascher auf 1,8 V bei 0,06 Ω und von da ab ist der Punkt des plötzlichen Spannungsabfalles, der unbedingt eine Neuladung verlangt, nicht mehr weit entfernt. Diese Änderungen kommen in der Stromstärke so deutlich zum Ausdruck, dass auch ein mässig genaues Galvanometer darüber sichere Auskunft gibt. Die Stromstärken sind bei einem Widerstande im äusseren Stromkreise von rund 1 Ω im ersten länger dauernden Abschnitte der Entladung $\frac{2}{0{,}04 + 1} = 1{,}92$ A, dann $\frac{1{,}9}{0{,}05 + 1} = 1{,}81$ A; schliesslich $\frac{1{,}8}{0{,}06 + 1} = 1{,}70$ A.

Bei Zellen, welche im Verhältnis zu ihrer Kapazität eine geringe Menge Säure fassen, sind die Änderungen der Spannung zwar gleich, die Änderungen des inneren Widerstandes aber viel beträchtlicher, als wenn reichlich Schwefelsäure vorhanden ist; die Abnahme der Stromstärke wird also bei solchen noch viel auffälliger.

Anhang.

Die wichtigsten Einheiten des elektrotechnischen Masssystemes.

In den vorhergehenden Kapiteln sind eine Reihe von Bezeichnungen und Abkürzungen fortwährend verwendet, deren Bedeutung hier noch eine kurze Erläuterung findet.

Die Einheit der Stromstärke heisst Ampère (Amper) = A.

Ein Strom von 1 A liefert im Knallgasvoltameter in der Minute 10,5 Ccm Knallgas, gemessen bei 0° C und 760 mm Barometerstand; der nämliche Strom scheidet an der negativen Elektrode eines Kupfervoltameters 0,01968 g Kupfer oder eines Silbervoltameters 0,06708 g Silber in der Minute ab.

Die Einheit der elektromotorischen Kraft (Spannung) heisst Volt = V.

Ein Daniell'sches Element besitzt durchschnittlich eine elektromotorische Kraft von 1,07 V, ein Bunsen'sches Element 1,8 V, eine Akkumulatorzelle 2,0 V.

Die Einheit des Widerstandes heisst Ohm = Ω.

Der Widerstand eines Quecksilberfadens von 1,06 m Länge und 1 qmm Querschnitt beträgt bei 0° 1 Ω; ungefähr den nämlichen Widerstand leistet ein Kupferdraht von 1 qmm Querschnitt bei einer Länge von 66 m.

Das Ohm'sche Gesetz

$$\text{Stromstärke} = \frac{\text{Summe der elektromotorischen Kräfte}}{\text{Summe der Widerstände}}$$

stellt folgende Beziehung zwischen diesen drei Einheiten her:

$$1\ \text{A} = \frac{1\ \text{V}}{1\ \Omega};$$

in Worten: die elektromotorische Kraft von 1 V erzeugt in einem Stromkreise von 1 Ω Widerstand einen Strom von der Stärke 1 A; oder: die Anzahl der A ist gleich der Anzahl der V, geteilt durch die Anzahl der Ω. Je grösser die elektromotorische Kraft in einem Stromkreise, desto grösser unter sonst gleichen Umständen die Stromstärke; je grösser die Widerstände in einem Stromkreise, desto kleiner unter sonst gleichen Umständen die Stromstärke.

Als Mass für die Elektrizitätsmenge verwendet man oft das Produkt aus der Anzahl der A mal der Zeiteinheit (meist 1 Stunde); 1 Ampère-Stunde = 1 ASt ist also diejenige Elektrizitätsmenge, welche bei einer Stromstärke von 1 A im Laufe von 1 Stunde einen beliebigen Querschnitt der Strombahn durchfliesst; eine Stromquelle, welche diese Elektrizitätsmenge zu liefern vermag, hat eine Kapazität von 1 ASt.

Das Mass für die Arbeit eines Stromes ist das Produkt aus der Anzahl der A mal der Anzahl der V und mal der Anzahl der Zeiteinheiten (meist 1 Sekunde oder 1 Stunde). Die geleisteten Arbeiten stehen im Verhältnisse dieser Produkte; sind die Produkte gleich, so ist es auch die Arbeitsleistung. Eine Akkumulatorbatterie hat z. B. die nämliche Arbeit geleistet, einerlei, ob sie einen Strom von 50 A bei 2 V 1 Stunde lang oder ebensolang einen Strom von 5 A bei 20 V oder von 10 A bei 10 V geliefert hat, oder auch 50 A bei 4 V ½ Stunde lang, 5 A bei 2 V 10 Stunden

lang, denn das Produkt aus Stromstärke, Spannung und Zeit ist in allen aufgezählten Fällen = 100.

Ein Strom, welcher bei 1 V Spannung die Stärke von 1 A besitzt, leistet in der Sekunde die Arbeit 1 V . 1 A; dieses Produkt 1 V . 1 A heisst 1 Watt = (V . A) = W. Da man die in einer Sekunde zur Wirkung kommende Arbeit einer beliebigen Maschine den Effekt dieser Maschine nennt, so ist 1 Watt die Einheit des Stromeffektes. Die gebräuchliche Einheit für mechanischen Effekt ist 1 Pferdekraft (HP) = 75 Meterkilogramm in 1 sec. Der Effekt 1 Watt entspricht $\frac{1}{736}$ Pferdekraft.

Eine Akkumulatorbatterie, die einen Strom von 3 A bei 16 V liefert, hat einen Effekt von 3 . 16 = 48 Watt = $\frac{48}{736}$ = 0,065 HP.

Lippert & Co. (G. Pätz'sche Buchdr.), Naumburg a. S.

RETURN TO the circulation desk of any
University of California Library

or to the

NORTHERN REGIONAL LIBRARY FACILITY
Bldg. 400, Richmond Field Station
University of California
Richmond, CA 94804-4698

ALL BOOKS MAY BE RECALLED AFTER 7 DAYS

- 2-month loans may be renewed by calling (510) 642-6753
- 1-year loans may be recharged by bringing books to NRLF
- Renewals and recharges may be made 4 days prior to due date

DUE AS STAMPED BELOW

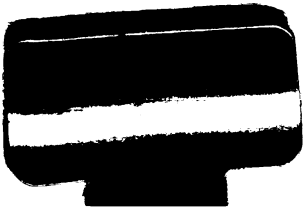
SENT ON ILL

MAY 29 2003

U. C. BERKELEY

DD20 15M 4-02

YC 11059



RETURN TO the circulation desk of any
University of California Library

or to the

NORTHERN REGIONAL LIBRARY FACILITY
Bldg. 400, Richmond Field Station
University of California
Richmond, CA 94804-4698

ALL BOOKS MAY BE RECALLED AFTER 7 DAYS

- 2-month loans may be renewed by calling (510) 642-6753
- 1-year loans may be recharged by bringing books to NRLF
- Renewals and recharges may be made 4 days prior to due date

DUE AS STAMPED BELOW

SENT ON ILL

MAY 29 2003

U. C. BERKELEY

DD20 15M 4-02

YC 11059